

Universidad de la República
Facultad de Agronomía

**SECADO DE MADERA DE *Eucalyptus camaldulensis* Denh.
EN HORNO CONVENCIONAL**

por

Ruben Santiago FERRANDO LÓPEZ
Ernesto Alejandro OLIVERA FARIAS

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2005

Tesis aprobada por:

Director: -----

Nombre completo y firma

Fecha: Agosto de 2005

Autores: -----

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Agradecimientos

Al Ing. Quím. Jorge Martínez, demás docentes y personal del Departamento de Procesos Unitarios del Instituto de Ingeniería Química de Facultad de Ingeniería, por permitirnos el uso de sus laboratorios, y por su colaboración.

Al Ing. Agr. Carlos Mantero, por apoyarnos en la iniciativa del presente estudio.

Al Ing. Agr. Alfredo Clement por el aporte de la madera para el trabajo.

Al Dr. Hennie Vermaas por su disponibilidad para contestar nuestras consultas vía Internet.

Al Dr. Varlone Martins por contestar nuestras consultas y enviarnos material.

Al Ing. Agr. Rinaldo Tuset por aceptar nuestra invitación para integrar el tribunal.

A Sebastián Ferrando por su invaluable ayuda en las traducciones.

A Angélica de Larrobla por su invaluable ayuda en la redacción, y a Mariano de Larrobla por prestarnos la cámara fotográfica.

Al Ing. Agr. Alejandro Venturino por su colaboración.

A nuestras familias y amigos por su permanente apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
<u>I. INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
A. CARACTERÍSTICAS DE SECADO DEL GÉNERO <i>Eucalyptus</i>	2
1. <u>Características del eucalipto colorado</u>	5
a. <i>Eucalyptus tereticornis</i>	5
b. <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6
B. TRATAMIENTOS DE PRE SECADO	6
C. PROGRAMAS DE SECADO	11
D. CALIDAD DE SECADO	24
<u>III MATERIALES Y MÉTODOS</u>	29
A. PROGRAMA DE SECADO	31
B. CALIDAD DE MADERA	33
<u>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	37
A. PROGRAMA DE SECADO	37
1. <u>Pre secado</u>	39
2. <u>Período de Espera</u>	40
3. <u>Secado</u>	41
C. CALIDAD DE SECADO	42
1. <u>Pre secado</u>	42
a. Calidad de presecado	42
b. Efecto del vaporizado	45
2. <u>Secado</u>	46
a. Reacondicionamiento	46
b. Calidad de secado	49
c. Contracción.	52
d. Tensiones	53
e. Color	54
f. Cepillado.....	54
<u>V. CONCLUSIONES</u>	58
<u>VI RESUMEN</u>	59
<u>VIII BIBLIOGRAFÍA</u>	60

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Programa de variación continua	12
2. Programa de secado CTBA modificado para tablas de 27-50mm	15
3. Programa de secado para <i>E. globulus</i>	15
4. Programa de secado para <i>E. dunnii</i> de 24 mm de espesor	16
5. Programa de secado para <i>E. dunnii</i> de 25 mm de espesor	17
6. Programa de secado de <i>E. dunnii</i> de 25 mm de espesor	17
7. Programa de secado para <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. globulus</i>	17
8. Programa de secado para <i>E. delegatensis</i> ¹ , <i>E. diversicolor</i> ² , <i>E. globulus</i> ³ , <i>E. maculata</i> , <i>E. marginata</i> ² , <i>E. microcorys</i> ² , <i>E. obliqua</i> ¹ , <i>E. pilularis</i> , <i>E. regnans</i> ¹	18
9. Programa de secado para <i>E. globulus</i> ¹ , <i>E. diversicolor</i> ² y <i>E. marginata</i> ²	18
10. Programa de secado propuesto por Bachrich	19
11. Programa de secado para especies del género <i>Eucalyptus</i>	19
12. Programa de secado para eucalipto colorado	20
13. Programa recomendado para <i>E. tereticornis</i> y <i>E. globulus</i>	20
14. Programa de secado para <i>E. tereticornis</i>	21
15. Programa de secado para <i>E. camaldulensis</i> de 25 mm de espesor	21
16. Programa de secado para <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	22
17. Programa elaborado para secado de la madera de <i>E. camaldulensis</i> en este trabajo.	32
18. Clasificación da tendencia a presentar defectos de secado, de acuerdo con IBDF (1988).....	35
19. Programa de secado resultante de este trabajo	37
20. Duración de secado en cámara para diferentes autores, según CH, y espesor de la madera	38
21. Distribución del viento y su variación en las diferentes etapas del proceso	39
22. Parámetros principales relevados durante el período de espera	39
23. Clasificación de la tendencia de ocurrencia de defectos en madera verde y luego del presecado	43
24. Análisis visual de defectos antes y después del presecado; % sobre el total de piezas con defecto	43
25. Análisis visual de defectos antes y después del pre secado según tipo de corte; % sobre el total de tablas con defecto	44
26. Clasificación de tendencia de ocurrencia de defectos en distintas etapas del proceso de secado	49
27. Análisis visual de defectos antes y después del secado según categoría de defectos	49
28. Análisis visual de defectos después del reacondicionamiento y al final del secado según tipo de corte de las tablas	50
29. Comparación de resultados en calidad de secado obtenidos para <i>E. camaldulensis</i>	52
30. Comparación de resultados en calidad de secado obtenidos en Uruguay para <i>E. camaldulensis</i>	52
31. Contracción en ancho y espesor	53
32. Resultados obtenidos en ensayos de propiedades físicas sobre muestras procedentes de nuestro país	53

LISTA DE FIGURAS

Figura		
1.	Curva característica de secado para madera de <i>Eucalyptus grandis</i> , con 20 mm de espesor (Jankowsky <i>et al.</i> , 2000)	2
2.	Gráfica de distribución del CH a través del espesor de un tabla vaporizada y otra no vaporizada en cinco puntos (Harris <i>et al.</i> , 1989.)	8
3.	Diagrama de corte usado para obtener las tablas	29
4.	Castillo de madera, vista lateral, con el detalle de la ubicación de las muestras y numeración de las tablas	30
5.	Foto del castillo dentro del horno de secado	31
6.	Esquema de elaboración de probetas de humedad y muestras de humedad	31
7.	Foto de probetas de gradiente de humedad	33
8.	Análisis visual de defectos, de acuerdo con Martins <i>et al.</i> (1985).....	34
9.	Foto de medición de flecha de canto	35
10.	Foto de medición de abarquillado	35
11.	Foto de tabla con colapso	36
12.	Gráfica de Contenidos de Humedad de la Madera y valores de Temperatura y Contenido de Humedad de Equilibrio en el proceso de secado	38
13.	Gráfica de Variación del Gradiente, Contenido de Humedad de la madera en el centro, periferia y promedio durante el período de espera	40
14.	Gráfica de contenido de humedad promedio inicial y final de almas y bordes	41
15.	Foto de agrietamiento de nudos	46
16.	Foto de agrietado superficial previo al vaporizado	46
17.	Foto de grietas superficiales cerradas después del vaporizado	47
18.	Foto Corte transversal de una tabla antes del reacondicionado (A) y después del mismo (D).....	47
19.	Foto de tabla con agrietado superficial antes y después del reacondicionamiento. Las flechas indican las grietas producidas en esta fase	48
20.	Foto de Superficie de tabla con agrietado superficial pos reacondicionamiento.1:longitud de grieta abierta en pre secado. 2: longitud de grieta abierta pos reacondicionado	48
21.	Foto de probetas de tensión una hora después de terminado el acondicionado	54
22.	Foto de probetas de tensión 24 horas después de terminar el acondicionado	54
23.	Gráfica de efecto del cepillado en la ocurrencia de abarquillado, agrietado superficial y colapso	55
24.	Figura 23: Foto de tablas con diferentes calidades antes del cepillado. 1: tabla con agrietado superficial medio y bolsa de quino;2: Tabla con nudos y agrietado superficial leve;3: tabla con colapso, abarquillado y agrietado superficial severo;4: tabla sin defectos	56
25.	Foto Tabla 1 después del cepillado	57
26.	Foto de tablas 2, 3 y 4 después del cepillado	57

I. INTRODUCCIÓN

Existen en el país superficies forestadas con Eucaliptos colorados. *E. tereticornis* y *E. camaldulensis* son las especies mas comunes. Estas plantaciones están dispersas por todo el territorio nacional fundamentalmente conformando cortinas, fajas forestales, montes de abrigo y sombra para producciones ganadera, o bien en plantaciones mas o menos extensas cuya finalidad principal es el uso industrial como combustible, debido a su elevada densidad y consecuente poder calórico.

El uso tradicional de esta madera ha sido para columnas, postes de alambrados, con frecuencia descarnados (sin albura), piques, piezas aserradas para su aplicación en carpintería rural; en casos puntuales se ha usado esta madera para fabricación de pisos (parquet) y carpintería en general.

Al tratarse de madera de elevada densidad, buena durabilidad natural, color oscuro y muy atractivo, es adecuada para uso en productos de mayor valor como carpintería de obra, pisos, tirantería, mueblería, etc.; productos éstos cuyo potencial de producción en el país no se está explotando en todo su potencial.

Dentro del proceso de producción de madera aserrada, el secado es una etapa clave para agregarle valor. El secado convencional cuando es bien conducido reduce el tiempo respecto al secado a la intemperie, hace posible un mayor control sobre los defectos, a la vez se pueden lograr contenidos de humedad adecuados para usos en productos que requieren estabilidad dimensional ya sea en el mercado nacional o para exportación (8 a 12%).

En nuestro país, el secado es una etapa limitante, debido a la escasa capacidad de secado, escasez de personal calificado para dicha tarea y poca cultura en la práctica de secado y consecuente uso de madera seca.

Debido a la existencia de materia prima, el buen desarrollo de estas especies en nuestro país, sus atractivas propiedades y características, la existente demanda de mercados para productos con valor agregado; se plantearon como objetivos para este trabajo:

- Desarrollar un programa de secado convencional para *Eucalyptus camaldulensis* con énfasis en reducir la duración del ciclo de secado, y lograr una buena calidad de la madera en las diferentes etapas del proceso.
- Aportar información a las investigaciones nacionales sobre tecnología para secado de madera eucaliptos; a la vez de plantear inquietudes para investigaciones futuras sobre este proceso.

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. CARACTERÍSTICAS DE SECADO DEL GÉNERO *EUCALYPTUS*

Los fenómenos característicos que ocurren en el secado de la madera de este género son: colapso, grietas superficiales, alta contracción, importantes gradientes de humedad y tensiones de secado pronunciadas. Se trata de maderas relativamente impermeables y que presentan variaciones pronunciadas en la tasa de secado que permiten clasificarlas como difíciles de secar (Vermaas, 1995). En la figura 1 se presenta la curva de secado característica de una especie de *Eucalyptus* que ilustra esta situación.

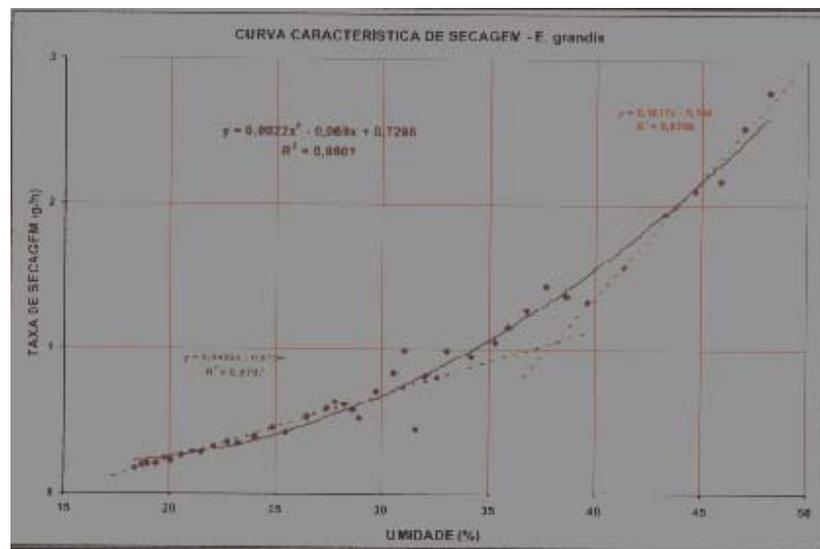


Figura 1: Curva característica de secado para madera de *Eucalyptus grandis*, con 20 mm de espesor (Jankowsky *et al.*, 2000)

Como puede visualizarse en la Figura 1, la madera de eucalipto no presenta la fase de tasa constante característica de una curva de secado, comprobando la impermeabilidad de la especie. Esto explica la necesidad de un secado lento y el desarrollo de gradientes de humedad por encima de lo normal (Jankowsky, 2003). La impermeabilidad contribuye, durante el secado, a que las superficies de las tablas alcancen rápidamente bajos tenores de humedad; en tanto la parte central aún permanece húmeda o casi saturada, generando tensiones internas debido al acentuado gradiente. Como resultado, ocurren defectos de secado cuya incidencia tiende a incrementarse con el aumento de la temperatura (Vermaas, 1998).

En Australia se encontró que, aparentemente existe una relación entre el contenido de humedad del centro de la sección aserrada, el colapso y la recuperación de dimensiones pos reacondicionamiento. Se comprobó que las tablas más severamente colapsadas frecuentemente tienen mayores contenidos de humedad en el centro y que éstos también

inhiben la “recuperación” de la madera colapsada en el reacondicionamiento¹. Como resultado, es necesario extender el período de secado normal en horno, con el riesgo de sobresecar el material, o implementar un período de espera² al final del pre secado en horno y antes del reacondicionamiento. Esto implica estacionar la madera al aire encastillada durante aproximadamente cuatro semanas, para obtener una disminución pareja de la diferencia de contenido de humedad entre el centro y la superficie (Vermaas, 1995).

En el secado de madera de *Eucalyptus*, desde su estado verde hasta el tenor de humedad final en estufa convencional, varios autores recomiendan dar inicio con temperaturas inferiores a 45° C y, posteriormente, mantenerla hasta que toda el agua capilar sea removida (Kauman, 1964; Bluhn *et al.*; Kauman, 1966; Campbell *et al.*, 1978; Hartley *et al.*, 1990; Vermaas, 1995; citados por Severo, 2000). A su vez, la humedad relativa debería mantenerse alta en esta fase, de otro modo podría desarrollarse agrietado superficial e interno (Vermaas, 1995).

En la fase final del secado, por debajo del punto de saturación de las fibras, es decir en torno al 25% de humedad y hasta que la madera alcance el 10-12%, el secado de este género no es problemático y la temperatura puede ser aumentada considerablemente (Christensen, 1984; citado por Severo, 2000). De acuerdo con este autor (1985), el secado final de la madera de eucaliptos, con espesores de 25-50 mm, puede ser completado con temperaturas de hasta 110° C sin mayores problemas para la calidad de la madera.

A contenidos de humedad por encima del punto de saturación de las fibras, la madera muestra un incremento en la tendencia al agrietado y al colapso, siendo las temperaturas elevadas un factor determinante en este último (Vermaas, 1995). Wengert (2004) plantea, que el momento más crítico en el secado de la madera para controlar grietas superficiales e internas, rajaduras y alabeos, es cuando el contenido de humedad está por encima del 45%. En el momento en el cual se alcanza el 30% de contenido de humedad o menos, la calidad ya está prácticamente determinada.

Hasta aquí se han mencionado en general, las principales características del secado del género *Eucalyptus*, a continuación se detallan los principales defectos de dicha práctica.

La mayoría de los *Eucalyptus* tiende a sufrir agrietado superficial en las tablas de corte tangencial durante el secado, a veces de forma severa. Sin embargo, la superficie de las tablas de corte radial usualmente permanece libre de tal defecto. Por esta razón y por la mayor estabilidad dimensional que ellas presentan, en varias regiones de Australia es una práctica tradicional cortar las tablas radiales de *Eucalyptus* para usar en pisos, molduras, carpintería en general, etc. En las zonas de las tablas en las que se presentan grietas, los australianos frecuentemente las cierran hacia el final del secado y suele ser difícil detectarlas en las superficies aserradas (Vermaas, 1995).

El reacondicionamiento para eliminar colapso es usualmente lo que causa que se reabran las grietas superficiales durante el secado final. Esto puede ocasionar pérdida importante de calidad y valor en la madera de corte tangencial. Sin embargo, esta práctica tiende a cerrar las grietas internas (Vermaas, 1995).

¹ Este tratamiento para remover uno de los principales defectos de secado, como es el colapso, será visto en la sección calidad de secado.

² Este tratamiento será detallado en la sección calidad de secado con mayor precisión.

Las rajaduras de cabeza pueden ser un problema en tablas de poco espesor durante el inicio del secado al aire (Campbell *et al.*, 1978). No obstante, la introducción de pre secaderos puede aliviar este problema (Brennan *et al.*, 1966; citado por Vermaas, 1995). El material proveniente de la zona próxima a la médula (50 mm de distancia) de árboles jóvenes, es particularmente propenso a sufrir grietas superficiales y en las cabezas. Esto último es causado por la existencia de tensiones de crecimiento (muy prevalentes en el género) y no constituye un defecto del secado (Vermaas, 1995).

La contracción, varía marcadamente entre *Eucalyptus* y es un fenómeno que, en gran medida, es independiente de las condiciones de secado. Sin embargo, la contracción por colapso, que ocurre por encima del punto de saturación de las fibras, es afectada por la temperatura y puede causar una pérdida de calidad y valor importante en varias especies. La "Contracción resultante" describe el efecto combinado de la contracción verdadera o normal y la contracción debida al colapso (Vermaas, 1995).

La contracción y el colapso excesivo durante el secado pueden resultar en defectos tales como, agrietado interno y superficial que limitan el valor de la madera de *Eucalyptus* (Hillis, 1984; McKenzie *et al.*, 2003; citados por Raymond *et al.*, 2004).

Kauman, (1964) (citado por Rozas *et al.*, 1993) refiriéndose al colapso, plantea que la humedad relativa del ambiente de secado y el tipo de corte de la madera son de importancia secundaria en la ocurrencia de dicho defecto. Incluso, afirma que los eucaliptos no deben ser expuestos a temperaturas superiores a 40°C hasta alcanzar una humedad de 30 % en el centro de las tablas y de 25 % en promedio. La razón de limitar la temperatura se basa en el hecho de que ésta intensifica el colapso por degradación térmica, limitando su recuperación. Para temperaturas más altas o humedades muy bajas, se ha encontrado que el colapso depende significativamente del tiempo de exposición a estas condiciones (Kauman, 2002).

Bluhm *et al.*, (1965) (citados por Rozas *et al.*, 1993) indicaron que el colapso se presenta con mayor intensidad en el duramen, debido a la obstrucción de los vasos por tálides. Esta obstrucción limita el flujo capilar provocando que las pequeñas puntuaciones de las fibras generen altas tensiones capilares. Dichas tensiones son capaces de vencer la resistencia de la pared celular, en compresión perpendicular a la fibra, ocasionando el colapso en la madera. Este defecto es mayor en la dirección tangencial que en la radial, porque las paredes tangenciales de las células son más gruesas que las radiales.

El alabeo puede ser causado por la contracción longitudinal anormalmente alta de la madera de tensión. Otra causa importante es la expresión de las tensiones de crecimiento, tanto en el árbol como en las trozas. Los efectos de las tensiones de crecimiento son usualmente mayores en los árboles jóvenes que en los maduros (Vermaas, 1995)

El alabeo durante el secado es de 2 tipos:

- i. Torceduras, combado y encorvadura, generalmente asociadas con la orientación de las células no paralelas con el eje longitudinal de la pieza y;
- ii. Abarquillado y alabeo romboidal, generalmente causado por diferencias entre la contracción radial y tangencial.

El abarquillado puede ser reducido secando la pila con pesos y con un correcto apilado. También se reduce este defecto, empleando un sistema que mantenga el material derecho

durante el reacondicionamiento o un vaporizado final para completar el secado (Vermaas, 1995).

La encorvadura no es normalmente un problema serio en *Eucalyptus*, pero cuando esto ocurre, puede ser controlada por una buena práctica de apilamiento con pesos y vaporizando al completar el secado. El combado está asociado con la contracción longitudinal de la médula, la madera de tensión y el grano cruzado. Usualmente éste es de menor ocurrencia que la encorvadura (Vermaas, 1995).

La restricción aplicada para controlar el alabeo no debería ser removida hasta que toda la pila pueda enfriarse a la temperatura ambiental. Una aproximación promisoría para reducir el alabeo es secar tablas anchas y re aserrarlas después del secado³ (Larson *et al.*, 1986)

La forma y magnitud de las pérdidas de calidad y valor de secado varían con las especies, su madurez, la posición en el árbol, el espesor, ancho y dirección de corte de la madera aserrada. También varía con factores ambientales como sitio, clima y latitud. Aparentemente no hay un factor simple que consistentemente tenga más influencia que otros en la calidad de secado del material (Campbell *et al.*, 1978.)

En general, la madera obtenida a partir de eucaliptos jóvenes es propensa a desarrollar defectos de secado, que son generalmente similares a los de madera de árboles maduros (Campbell *et al.*, 1978). Sin embargo, la menor densidad y mayor permeabilidad del material joven indican que éste puede ser más fácil de secar que el material maduro (Vermaas, 1995).

Si bien las especies de *Eucalyptus* de baja densidad generalmente colapsan más que aquellas de alta densidad, el colapso puede prevalecer en mayor medida en las maderas provenientes de árboles jóvenes (Campbell *et al.*, 1978).

1. Características del eucalipto colorado

a. Eucalyptus tereticornis

A pesar de las propiedades favorables de resistencia que tiene el *Eucalyptus tereticornis*, su utilización como material aserrable en el pasado ha sido considerada difícil y anti económica. Los problemas más importantes en el uso de trozas de este eucalipto, son: desarrollo de grietas y rajaduras en las cabezas de trozas recién cortadas durante el estacionado, tendencia al alabeo y rajado excesivo durante la conversión de las trozas en tablonés, lo que hace a esta madera inadecuada para su uso (Boas, 1947).

El comportamiento durante el secado está caracterizado por una lenta tasa de secado, colapso, tendencia al rajado, alta contracción y pronunciadas tensiones debidas a los altos gradientes de humedad. A pesar de esto, se puede obtener madera seca de buena calidad para la construcción de muebles y carpintería si se pone estricta atención a determinados principios fundamentales; por ejemplo: el almacenamiento adecuado de las trozas puede prevenir marcadamente el rajado y agrietado en las cabezas (Boas, 1947).

³ Método que combina el proceso de aserrado con el de secado llamado Saw Dry Rip. El mismo será explicado en el apartado tratamientos de pre secado.

b. *Eucalyptus camaldulensis*

En espesores de una pulgada o más, la madera obtenida a partir de árboles maduros de esta especie podrá ser secada al aire o en horno, sin presentar agrietado. Incluso es posible secar tablas de corte tangencial sin agrietado, si se toman los cuidados suficientes. No obstante, la madera proveniente de árboles jóvenes tiende a agrietarse si es cortada tangencialmente.

Otras características de la madera de esta especie son su propensión al alabeo y el agrietado en las cabezas de las tablas (Boas, 1947). Martins *et al.*, (1999) señalan que esta especie presenta una tendencia pequeña a la torcedura y al agrietado en las cabezas. Por esta razón, Boas (1947) recomienda la colocación de separadores muy próximos entre ellos. Los pesos para disminuir alabeos deberán ser realmente importantes para reducirlo, sobre todo en las capas superiores del castillo. El tratamiento de vaporizado final es muy efectivo en la reducción del alabeo. Respecto al grado de colapso que estas especies pueden presentar, el mismo parece variar con la localidad, aunque es común que existan niveles tales que exigen la implementación de tratamientos de reacondicionado (Boas, 1947).

Respecto al tiempo de secado, Martins *et al.*, (1999) clasifican a esta especie como de secado muy lento, con un requerimiento de más de veinte días en horno. Según experiencias australianas, aproximadamente veinte días son requeridos para secar en horno madera verde de una pulgada, de tablas aserradas mixtas y nueve días para secar en horno madera pre secada al aire⁴ (Boas, 1947).

Comparando ambas especies, el *E. tereticornis* es más fácil de secar y menos propenso al colapso que el *E. camaldulensis*. De todos modos, la localidad de crecimiento es un factor importante en determinar la magnitud del colapso (Boas, 1947).

B. TRATAMIENTOS DE PRE SECADO

Bajo este título se discuten una serie de tratamientos, a saber: pre vaporizado de madera verde, pre congelado, pre cepillado, entre otros. El aserrado radial de tablas puede ser considerado una forma de tratamiento de pre secado, al igual que la aplicación de selladores a las cabezas de la madera recién aserrada (Vermaas, 1995). Otras técnicas utilizadas para proteger la madera verde de la exposición a condiciones severas en estadios iniciales del secado, y que son necesarias para prevenir la pérdida de calidad y valor del material, incluyen:

- Implementar instalaciones con ambiente controlado en la salida del aserradero y un área construida específicamente para el encastillado.
- Cubrir los paquetes de madera recién cortada para prevenir el secado antes del encastillamiento.
- Recubrir la superficie de la madera con una película de cloruro de polivinilo semipermeable, agregada con un adhesivo de acetato de polivinilo.
- Proteger los castillos con una capa de polietileno que posteriormente, cuando el período de secado crítico ha pasado, es removida.

⁴ En la sección referida a programas de secado, este aspecto será discutido con mayor detalle.

- Estacionar el material en un cobertizo⁵ abierto en los laterales, que pueden cerrarse para reducir la circulación en el secado al aire.
- Cobertizos cerrados para el secado inicial, generalmente sin circulación de aire forzado pero con la posibilidad de incluir enfriadores evaporadores para bajar la temperatura y aumentar la humedad.
- Pre secadores que normalmente operan en condiciones de contenido de humedad de equilibrio constante y fuertemente controladas (Hartley *et al.*; 1990; citado por Vermaas, 1995).

El pre vaporizado de la madera verde es considerado por diversos autores una técnica adecuada para solucionar varios problemas de secado inherentes al género (Campbell, 1961; Simpson, 1975; Wengert, 1971; Vermaas, 1995.). El término pre vaporizado ha sido designado para describir la operación que se ejecuta sobre la madera verde, previo al secado al aire o en horno, con el propósito de reducir los tiempos de secado. Además del incremento en la tasa de secado, el pre vaporizado reduce significativamente los gradientes de humedad en tablas refractarias. En éstas, promueve una mejor recuperación del colapso durante el reacondicionamiento, y al mismo tiempo reduce la tendencia al agrietado sin ocasionar efectos deletéreos en la resistencia (Campbell, 1961; citado por Vermaas, 1995).

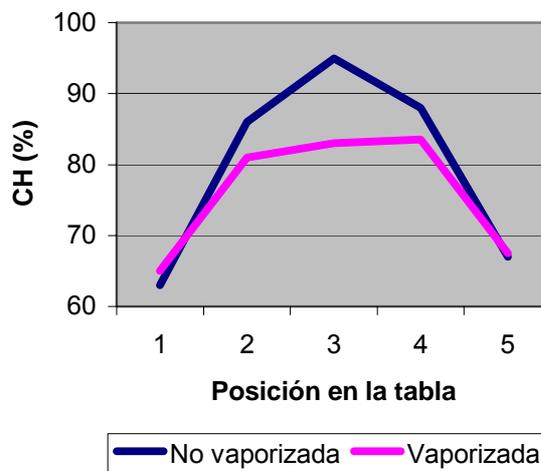
El pre vaporizado ha sido propuesto durante décadas como técnica de aceleramiento del secado. Los primeros reportes indicaban que una carga que había sido pre vaporizada secaba más rápido que otra que no lo había sido. Sin embargo, esto se atribuía al hecho que después del vaporizado el centro del material recibía un importante suplemento de calor que mejoraba el secado posterior, más que a un cambio estructural o químico en la madera que incrementara la permeabilidad (Loughborough, 1920; citado por Harris *et al.*, 1989).

Se ha reportado escasa información sobre el mecanismo por el cual el vaporizado incrementa la tasa de secado de la madera. Kininmonth (1971), (citado por Simpson, 1975) mostró que el vaporizado cambió la naturaleza de los extractivos de lignina del lumen celular y de las cavidades de las membranas. Previo al vaporizado estos extractivos formaban una capa continua; después del vaporizado la capa apareció quebrada, abierta y generalmente discontinua. Su interpretación fue que las paredes celulares comenzaron a ser más permeables al agua y por esta razón aumentó el movimiento de la misma. Kubinsky (1971), vaporizando madera de *Quercus rubra*, realizó una investigación microscópica donde encontró roturas ocasionales en las paredes celulares y una reducción en el tamaño del lumen de las fibras en las muestras vaporizadas. La reducción en el tamaño del lumen fue atribuida a la disrupción dentro de la pared celular por el vaporizado, resultando en un incremento de la hinchazón de las paredes de la fibra. Otros autores interpretan que el incremento en un 7-16% en la tasa de secado de *Eucalyptus pilularis*, se generó a partir de la movilización y remoción parcial de los extractivos del duramen. Probablemente esto haya permitido mayor acceso de las moléculas de agua a las paredes celulares, y por esta razón se haya incrementado la difusión radial y tangencial. La permeabilidad longitudinal se vio incrementada significativamente por el pre vaporizado, mientras que las tñides parecieron no alterarse (Alexiou *et al.*, 1990).

Varios estudios han confirmado la disminución en el tiempo de secado a causa del pre vaporizado. Campbell, (1961) (citado por Simpson, 1975) vaporizando durante dos horas varios eucaliptos australianos de 1 pulgada, redujo el tiempo de secado en horno. Sus resultados muestran que, al menos en dos situaciones, existieron reducciones de un 28% en el tiempo de secado desde verde hasta un contenido de humedad de 20%, y 35% desde verde a 15% de contenido de humedad. Además encontró evidencia de una reducción en el agrietado

⁵ Una construcción precaria que oficia de depósito a una escala pequeña.

superficial. Otros autores, vaporizando *Sequoia sempervirens*, encontraron una reducción de un 20% en el tiempo de secado en horno desde verde a 8 % de humedad y un 40% en el secado al aire desde verde hasta un 25% de humedad (Ellwood *et al.*, 1962; citados por Simpson, 1975). Ordinario, (1968) (citado por Simpson, 1975) también encontró que los tiempos de secado en horno y al aire de bagtikan (*Parashorea spp*) fueron reducidos por pre vaporizarla verde. La tasa de secado de las muestras vaporizadas fue mayor que las no vaporizadas los primeros seis a ocho días. Después de los primeros ocho días, la tasa de secado se mantuvo durante aproximadamente diez días para ambas muestras. De éstas, las no vaporizadas presentaron una mayor tasa de secado que las vaporizadas (Harris *et al.*, 1989.)



Fuente (Harris *et al.*, 1989.)

Figura 2: Distribución del CH a través del espesor de un tabla vaporizada y otra no vaporizada en cinco puntos (Harris *et al.*, 1989.) (los puntos 1 y 5 representan el borde y el punto 3 representa el centro de la tabla).

La vaporización, además de incrementar la tasa promedio de secado, reduce el gradiente de humedad, uno de los factores responsable de las rajaduras de la madera, en el material de difícil secado (Alexiou *et al.*, 1990; Simpson, 1976 y 1983). En estudios realizados por Alexiou *et al.* (1990) el pre vaporizado redujo el gradiente de humedad desde el centro a la superficie en 12.2% durante los primeros ocho días de secado, y en 5.2% sobre la duración total del proceso. La figura 2 ilustra el efecto del vaporizado en la distribución del contenido de humedad dentro de la tabla. En ella se compara la distribución del contenido de humedad de dos tablas; una vaporizada y enfriada, y la otra secada al aire al mismo contenido de humedad promedio que la tabla vaporizada. La distribución de la humedad en ésta es más uniforme a través del espesor, con un contenido de humedad mucho más bajo en el centro que la tabla no vaporizada. Tal efecto se debe a la migración de la humedad desde el centro hacia afuera durante el vaporizado y enfriado. El gradiente de humedad es menor en las muestras vaporizadas que en las no vaporizadas cuando el contenido de humedad promedio de las tablas es 60 y 40%. Sin embargo, con el tiempo el contenido de humedad promedio de las tablas alcanzó el 20% y los gradientes de humedad de las muestras vaporizadas y no vaporizadas fueron prácticamente idénticos (Harris *et al.*, 1989).

Otras consecuencias comprobadas del pre vaporizado son: la pérdida de un 5% a 20% de contenido de humedad como resultado directo, mejora en la recuperación del colapso,

menor pérdida de calidad y valor, y mejora en propiedades de la madera que le confieren facilidad de trabajo (Harris *et al.*, 1989).

Alexiou *et al.* (1990) encontraron una reducción de cerca de 53% en las rajaduras superficiales al pre-vaporizar *Eucalyptus pilularis*. El mismo autor y Marchant, (1990) (citados por Vermaas, 1995) obtuvieron, para la misma especie, menor agrietado en las cabezas y una reducción de las tensiones y los gradientes. El proceso ocurrió a una temperatura de 100° C durante tres horas y luego de un calentamiento inicial de una hora. Tratamientos más extensos no alcanzaron el objetivo de obtener mejoras en la tasa de secado y a su vez tendieron a acentuar el colapso. Chafe, (1990), (citado por Rozas *et al.*, 1993) comenta que la vaporización de la madera de *Eucalyptus regnans* durante treinta minutos produce una pequeña, pero significativa, reducción en la variación dimensional de la madera, mayor contracción Volumétrica y una mejor recuperación del colapso. Según Tomaselli (1978), un factor que contribuyó a obtener un bajo índice de alabeos en el secado de *Eucalyptus grandis*, estuvo relacionado a la vaporización inicial. Para este autor, cuando dicho procedimiento se lleva a cabo con temperaturas próximas a 100° C y por períodos dependientes de las especies y espesor del material, este defecto se minimiza durante la etapa de secado. Reducciones en el nivel de abarquillado, en virtud de la vaporización inicial, fueron observadas por Rozas (1993) para madera de *Eucalyptus grandis* secada en estufa piloto. Resultados obtenidos en la Universidad de Vigo, muestran que un vaporizado durante el secado de *Eucalyptus globulus*, cuando la madera alcanza 45% de humedad, logra una disminución del abarquillado en tablas tangenciales en un 54%. Este tratamiento se realizó a 85 °C durante seis horas (Baso, 2004).

En estudios que analizaron otros efectos del pre vaporizado, se concluyó que el mismo no alteró el Volúmen inicial y la densidad básica de la madera, no obstante incrementó la contracción Volumétrica. Este incremento fue atribuido a la ocurrencia de colapso (Severo, 2001). El efecto de aplicar vaporización inicial durante el secado de *Eucalyptus dunnii* fue estudiado por el mismo autor en el año 2000, cuando probaba tres programas diferentes de secado. La conclusión fue que la aplicación de vaporizado es recomendable para reducir la incidencia del colapso. Mackay (1971) (citado por Rozas *et al.*, 1993) observó que la pre vaporización aumenta la difusión de vapor en un 9% y favorece la recuperación del colapso.

Respecto a los equipos necesarios para realizar este pre tratamiento, constantemente se plantea la cuestión relativa a la utilización de la cámara de secado como recinto para vaporizar madera. En teoría, esto es posible si se introduce el vapor de manera continua en la cámara por medio de la tubería existente. Desde el punto de vista económico, esta situación no es satisfactoria ya que ocasionaría que los componentes de la cámara sean sometidos, por la acción del vapor, a esfuerzos tan grandes que la duración de la misma disminuiría considerablemente. Asimismo, la cuantía de la inversión para adquirir una cámara de vaporizado es, respecto a la de una instalación de secado, aproximadamente 3:10 (Hildebrand, 1970).

Considerando otros tratamientos de pre secado, la investigación de Schaffner *et al.*, (1984) (citados por Vermaas, 1995) en tensiones de secado y agrietado superficial en tablas de corte tangencial de *Eucalyptus*, permitió desarrollar un sistema de recubrimiento superficial de las tablas. El mismo tiene como objetivo reducir el gradiente de humedad cercano a la superficie de la madera y disminuir o eliminar el agrietado superficial. Capas con acetato de polivinilo fueron utilizadas para evitar el agrietado superficial en tablas de eucaliptos en Tazmania, siendo el resultado de dicho tratamiento dependiente del espesor de la capa aplicada.

El cepillado de madera previo al secado permite remover fracturas ocasionadas por la sierra en la superficie y parece ser una vía efectiva para minimizar el desarrollo de agrietado superficial en especies propensas a este defecto, como el *Quercus spp* (Cuppett *et al.*, 1972; Cech *et al.*, 1975; citados por Vermaas, 1995) y *Fagus spp* (Rietz *et al.*, 1968; citado por Vermaas, 1995). Otras ventajas de esta técnica incluyen: reducción de la sensibilidad a las grietas y a las condiciones de secado más severas, espesor uniforme de tablas, incremento del Volúmenumen de los castillos y mejora en la calidad del encastillado (Vermaas, 1995). Rice (1986) (citado por Vermaas, 1995) obtuvo reducciones considerables en las rajaduras, después del pre cepillado de las tablas de la madera de roble, en tanto que Rietz *et al.*, (1968) (citados por Vermaas, 1995) obtuvieron reducciones similares en madera de *Fagus spp*. El concepto de pre cepillado en roble, previo al secado, data de 1960 con el trabajo de Gaby (1963) (citado por McMillen *et al.*, 1972). Este autor mostró que las tablas obtenidas con sierra circular presentan rajaduras y fracturas superficiales, que pueden ser eliminadas con un pre cepillado de 1/32 pulgada. Más aún, él mostró que la madera secada con estos defectos, era más susceptible a sufrir grietas superficiales que la madera pre cepillada sin estos defectos. La implicancia de las rajaduras y fracturas es que, a partir de ellas se generan zonas de concentración de tensiones de secado que se abren más fácilmente que aquellas zonas en las que dicha concentración no ocurre.

Simpson (1980) encontró reducciones en los tiempos de secado al pre-cepillar y pre vaporizar roble utilizando un programa acelerado y “*gradual*”⁶. Rice (1986) (citado por Vermaas, 1995) encontró que el pre cepillado de la madera de roble, antes de ser secada en horno, redujo las pérdidas de valor y calidad originadas a partir de alabeos y grietas superficiales.

Cooper (19??) (citado por Vermaas,1995) encontró que varias latifoliadas (incluyendo por ejemplo: *Eucalyptus regnans*) se secaron con significativamente menos colapso, agrietado interno y contracción si la madera era pre-congelada a – 23°C. Ilic (1993) encontró reducción en el colapso en un 36% por pre-congelado de *E.regnans* verde.

Pandey *et al.* (1984) (citados por Vermaas, 1995) reportaron que pre tratamientos con urea eliminaron el agrietado superficial y en las cabezas, pero no el colapso y el alabeo, que son los mayores defectos en las tablas de corte tangencial de *E. tereticornis*. Sharma (19??) (citado por Vermaas, 1995) encontró que un pre humedecimiento de las latifoliadas refractarias Indias, en solución de glycol polietileno, urea o urea-sorbitol, son medidas efectivas para el control del agrietado superficial.

Una aproximación promisoriosa para reducir el alabeo en latifoliadas de menores tamaños, y por ende en madera de eucaliptos jóvenes, es el proceso de “*saw-dry-rip*” (Campbell *et al.*, 1978; citados por Vermaas, 1995). Este proceso implica el aserrado de trozas verdes en tabloncillos, el secado de los mismos y su reaserrado hasta obtener el tamaño final. Campbell (1975), encontró un incremento en la recuperación de *Eucalyptus regnans* tratado de esta forma. También observó, una reducción en la curvatura general de tablas obtenidas a partir del reaserrado de tabloncillos secos, en comparación con las tablas obtenidas a partir de trozas verdes. Similares observaciones fueron hechas por Marshall (1973) (ambos autores citados por Vermaas, 1995) y por Bermúdez *et al.*, (2002).

⁶ Programa de secado que se basa en, generar continuamente cambios graduales en las condiciones del mismo. Éste tema será desarrollado en la sección programas de secado.

C. PROGRAMAS DE SECADO

Todos los programas de secado son creados como guías que, con el uso de sentido común, pueden ajustarse. El programa actúa como un camino con señales que indican la velocidad máxima permitida. No obstante, el conductor no podrá ir tan rápido como indiquen dichas señales cuando el sentido común le advierta que no se puede estar seguro a esa velocidad. Es por ello que la experiencia es un factor tan importante en el secado de madera de latifoliadas (Denig *et al.*, 2000).

Estos autores plantean la importancia del desarrollo de programas de secado para latifoliadas más rápidos, con cantidades y tipos aceptables de defectos. Para acelerar el proceso de secado, ellos sugieren como criterio general, que el primer paso para modificar un programa es cambiar la depresión de bulbo húmedo actual por una más alta. La modificación posterior consiste en cambiar la temperatura de inicio del programa, de manera de obtener una temperatura inicial más alta. Después de esta modificación, el nuevo programa necesitará ser evaluado en términos de calidad. Si se determina que el programa es muy severo, el primer paso para convertirlo en uno más suave, es cambiar la temperatura del mismo.

Rasmussen (1961) plantea que cuando cierta especie es sometida a un programa y no presenta defectos significativos, la primera modificación en el programa de secado es disminuir la temperatura del bulbo húmedo. Dicha disminución debe ser realizada cuando la madera pierde 1/3 de su humedad. Los cambios subsecuentes pueden ser realizados por cada 10% de disminución en el tenor de humedad. Posteriormente, se puede cambiar la temperatura del bulbo seco, principalmente en el caso de maderas con características permeables que impidan la ocurrencia de defectos; en este caso, se puede realizar un pequeño aumento en la temperatura inicial. Las temperaturas también pueden ser modificadas en las etapas intermedias del programa y en el final del secado cuando las muestras de control de humedad alcancen 15%. En este último caso, las temperaturas de hasta 94°C pueden ser empleadas sin daños a la madera, a excepción de una pequeña disminución en la resistencia mecánica. Denig (1994) (citado por Andrade, 2000) comenta que los programas sugeridos por Rasmussen presentan dos inconvenientes: cambios bruscos en las condiciones de secado y bajas humedades de equilibrio al final.

Un número importante de trabajos se han realizado, en el desarrollo de programas para *Eucalyptus*, por organizaciones de investigación como CSIRO⁷, AFRDI⁸, CALM⁹ en Australia (Mills, 1991; citado por Vermaas, 1995) y por institutos en países como Sud África, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos y Chile. En este proceso una variedad de programas han sido desarrollados, por ejemplo (Vermaas, 1995):

- A. Programas basados en el contenido de humedad de la madera** (Mills, 1991; Campbell, 1975; Pandey *et al.*, 1984; Neumann, 1989; Stohr *et al.*, 1984; Priest *et al.*, 1982; citados por Vermaas, 1995). En este caso los programas normalmente comienzan con el contenido de humedad de la madera verde, sugiriendo un secado en horno normal desde el comienzo. Es común que se recomiende que el secado en horno sea precedido por un período de secado al aire (o pre secado en presecadero), hasta un contenido de humedad de 25 – 30%.

⁷ Commonwealth Scientific and Industrial Reserch Organiztion

⁸ Australasian Furnishing Research an Development Institute

⁹ Conservazione and Land Management

- B. Programas de temperatura y humedad relativa constantes** son aplicados en Holanda para el secado completo de Latifoliadas en las llamadas cámaras climáticas (Vermaas, 1995).
- C. Programas basados en el tiempo** (Campbell, 1975; citado por Vermaas, 1995) los cuáles son desarrollados a partir de la experiencia surgida de los programas basados en el contenido de humedad.
- D. Programas de variación continua** (Nassif, 1983; Vermaas *et al.*, 1989; citados por Vermaas, 1995), donde la temperatura del bulbo seco y la depresión del bulbo húmedo (después de la etapa de calentamiento inicial hasta los 35 – 45°C) se incrementan continuamente a una tasa fija desde la temperatura del calentamiento hasta que la madera alcance un contenido de humedad de 25%. Después de alcanzar este contenido de humedad, la temperatura del bulbo seco y la depresión del bulbo húmedo son incrementadas hasta que el contenido de humedad final es alcanzado. Un ejemplo de programa se presenta a continuación en el Cuadro 1:

Contenido de humedad (%)	Bulbo seco (°C)	Depresión bulbo húmedo (°C)
Verde → CH objetivo	20° → 35° (1°C/h)	(DBH-2°) → 33°
CH objetivo → 25%	(35 + 0.1 - t)° → A°	(33 + 0.07 - t) → B°
25% de CH → 12%	(A + 0.25 - t)° → D°	(B + 0.15 - t) → E°

Fuente: Vermaas, *et al.*, (1989).

Donde t = tiempo de secado en horas.

Cuadro 1: Programa de variación continua

- E. Programas intermitentes** (Lerz *et al.*, 1987; citados por Vermaas, 1995). Aquí la fase de secado es alternada con otra fase, en la que los calentadores y ventiladores son apagados y las chimeneas son cerradas. La teoría plantea que el contenido de humedad y las tensiones de secado se reducen durante la fase de “no secado” y esto resulta en una alta calidad de madera seca. Se han obtenido buenos resultados por parte de Vermaas (datos sin publicar) con este programa en el secado de *E. grandis*, pero en tiempos mayores como consecuencia directa.
- F. Programas graduales** (Simpson, 1980; Little, 1989; citados por Vermaas, 1995). La hipótesis es que, los cambios relativamente abruptos en las condiciones de humedad de equilibrio en un programa para horno convencional, someten la superficie de la madera a gradientes de humedad importantes, que tienden a agravar o causar el agrietado superficial. Más aún, si la propensión al agrietado superficial fuera baja, sería posible realizar pequeños cambios en las condiciones del horno un poco antes en el programa de secado, y esto efectivamente acelerar el programa. A pesar de que Simpson (1980) y Little (1989) (citados por Vermaas, 1995) desarrollaron estos programas para el secado de roble, el principio debería ser igualmente aplicable a los *Eucalyptus*, los cuales tienden a exhibir agrietado superficial.

Los programas más exitosos para el secado de eucaliptos han sido, sin duda, los desarrollados en Australia. Un ejemplo de programa exitoso se brinda a continuación (Campbell, 1961):

- 1- Calentamiento y pre vaporizado del material verde de 25 a 50 mm de espesor a 100° C y 100 % de humedad relativa, lo más temprano posible en una cámara de vaporizado.

- 2- Traslado de la madera a un pre secadero (u horno) y pre secarla a 38°C/32°C hasta un contenido de humedad de 14%. La “*Kauri Timber Company*” en Smithton, Tasmania, seca la madera hasta, por lo menos, un 20 % de contenido de humedad¹⁰ (Com.Pers.)
- 3- Retiro del material del pre secadero y estacionado por un período de diez días (período de espera), para reducir el elevado contenido de humedad del alma. La “*Kauri Timber Company*” mantiene el material de 25 mm de espesor en un lugar cubierto por unas tres semanas para lograr el igualado, idealmente hasta un 18 – 20 % de contenido de humedad¹⁰ (Com.Pers).
- 4- Secado en horno a 54°C/ 38°C, hasta una humedad promedio de 11%.
- 5- Reacondicionado por seis horas a 100°C y 100% de humedad relativa en una cámara de reacondicionado (con un contenido de humedad promedio de 15% y con todas las almas por debajo de 25 % de humedad).
- 6- Secado final a 60°C/49°C hasta un promedio de contenido de humedad de 10%.

La “*Kauri Timber Company*” omite el paso 4 y reacondiciona cuando el material tiene un contenido de humedad de 18 – 20%. La duración del calentamiento es de dos horas y la del reacondicionado varía de tres a ocho horas (material de 19 a 38 mm de espesor) a 90 – 95 °C, utilizando vapor despresurizado y no sobrecalentado. El secado propiamente dicho, es llevado a cabo en un horno convencional con una temperatura de inicio de 50°C/40°C. En los siguientes tres a cuatro días, la temperatura progresa (material de 25 mm de espesor) a 72°C, con un incremento en la depresión del bulbo húmedo hasta alcanzar un contenido de humedad final de 8 – 12%. Después del secado, la carga es mantenida bajo techo durante 24 a 56 horas previo al desencastillado. Respecto al período de espera, el mismo parece ser usado solamente en Australia; sin embargo, se ha comprobado que contribuye a alcanzar una calidad particular, necesaria para la madera con usos “a la vista” (Vermaas, 1995).

Los programas de temperatura y humedad constantes (por ejemplo 40° C / 65% H.R) como los usados en Holanda en hornos climáticos, e incluso en USA en cámaras de pre secado, han dado excelentes resultados. Algunos trabajos de Vermaas¹¹ indican que, si bien los programas intermitentes pueden ser mas lentos, la calidad de secado puede ser mejor en un 25% aproximadamente (Vermaas, 1995).

Como se ha visto, son varios los tipos de programa posibles para secar especies del género *Eucalyptus*. No obstante, a continuación se pondrá énfasis en los programas basados en el contenido de humedad de la madera de especies de *Eucalyptus* de similar comportamiento de secado a *Eucalyptus camaldulensis*.

El tiempo de secado artificial de madera de *Eucalyptus* de corte radial de una pulgada de espesor, varía entre 350 a 450 horas a partir de tenores de humedad inicial próximos al punto de saturación de las fibras. Para madera de ¾ pulgadas de espesor, el tiempo de secado

¹⁰ Vermaas 1995

¹¹ Vermaas (1995); sin publicar

es aproximadamente 200 horas (Teuber, 1990; citado por Rozas *et al.*, 1993). Estudios conducidos por Tomaselli (1992) (citado por Rozas, 1993) muestran que la utilización de un sistema combinado de pre secado al aire libre y secado convencional, para madera de eucalipto de 25 mm de espesor, lleva aproximadamente dos meses para alcanzar el punto de saturación de las fibras. Posteriormente, el proceso varía de cinco a diez días en estufa para alcanzar el tenor de humedad final deseado.

En España (Álvarez *et al.*, 1999) la madera aserrada de *Eucalyptus globulus* de 22 mm de espesor, se seca primero al aire y cuando se comprueba que ha alcanzado el punto de saturación de las fibras (30% de humedad) se traslada a un secadero tradicional durante 15 días para completar su secado hasta el 10 – 12% de humedad. En ningún caso, los secaderos superan los 50° C de temperatura. Con este procedimiento se obtiene un producto de muy buena calidad..

Neumann (1992) (citado por Álvarez *et al.*, 1999) describe la forma de realizar el secado de *Eucalyptus globulus* de 30 mm de espesor en Chile, el cual es prácticamente igual a como se realiza en España. Sin embargo, los datos de tiempo de secado que proporciona son mayores, principalmente el dedicado al secado al aire. Alvarez *et al.*, (1999) manifiestan que el problema surge cuando lo que se pretende secar son piezas de 40, 50 o 60 mm de espesor. Si se sigue el mismo procedimiento de secado que para los dos casos anteriores, el tiempo de secado al aire hasta alcanzar el 30% de humedad resulta excesivamente largo. Además, se suma el inconveniente de que parte del secado se realizaría en épocas calurosas y secas con la consiguiente producción de defectos que inutilizarían gran parte de la partida de madera. En el supuesto de que la madera haya alcanzado el 30% de humedad sin grandes defectos, todavía queda un período de secado en cámara de por lo menos 40 o 50 días. El secado de este tipo de piezas da lugar a un proceso de larga duración, problemático y en conjunto muy costoso.

C.H (%)	T (° C)	H.R (%)
Verde	35 (30)	82
35	40 (30)	80
30	42 (40)	80
28	45	77
25	50	70
22	55	67
20	60	57
18	60	50
15	65	42

Fuente: Álvarez *et al.*, (1999)

Cuadro 2: Programa de secado CTBA modificado para tablas de 27-50 mm.

Álvarez *et al.*, (1999) secaron maderas de 27 y 50 mm de espesor de *Eucalyptus globulus* en horno convencional utilizando un mismo programa para ambos espesores. El programa utilizado para secar esta especie fue el recomendado por el CTBa¹² con una ligera modificación consistente en una pequeña elevación de la temperatura en las tres primeras etapas del secado. Esta modificación, a su vez, mostró no afectar la calidad de secado. A su vez, detallan que para alcanzar esta calificación de calidad es necesario: utilizar el mayor número posible de sondas de humedad, situarlas correctamente en el corazón de las piezas,

¹² Centre Technique du Bois et de l'Ameublement de Francia

conducir el proceso de secado por la sonda más húmeda y realizar una correcta fase de acondicionado. A continuación se muestran los principales parámetros de este programa:

- Tiempo de pre calentamiento: 2 horas por cm de espesor.
- Tiempo de acondicionado: 2 horas por cm de espesor.
- N° de sondas de humedad de la madera: 5
- Situación de las sondas de humedad: 1/3 del grueso de la pieza.
- Método de secado: por humedad medida por las sondas.
- Humedad final objetivo, a 1/3 del grueso de las piezas antes del acondicionado: 10-11%

El programa recomendado por estos autores se presenta en el Cuadro 2.

Neuman (1989) (citado por Rozas, 1993) comenta que es posible secar madera de *Eucalyptus globulus* con 30 mm de espesor por medio de un sistema mixto de pre secado y secado de alta temperatura. En este caso, el tiempo de secado es de aproximadamente 35 días para secar desde 70% hasta 21%, a una temperatura inicial de 22,5 ° C y final de 35 ° C. Para secar de 21% hasta 10%, con una temperatura de 110 ° C, el tiempo de secado es de 20 horas.

Baso (2004), plantea que la mejor opción para el secado de *Eucalyptus globulus* en España es el secado con aire caliente, al que se añade la realización de operaciones intermedias de vaporización para reducir el colapso, recuperar dimensiones y aumentar la velocidad de secado en las etapas intermedia y final. La metodología por él propuesta para secar esta especie, se presenta en la siguiente tabla. El proceso está dividido en dos fases: pre secado hasta un contenido de humedad de 20% y secado hasta humedad final. Se realizan tres vaporizaciones, la primera cuando la madera alcanza 45%, la segunda entre el presecado y secado, y la tercera después de llegar a la humedad final. Estos tratamientos se hacen a 85° C durante 6 horas (ver Cuadro 3). Las siguientes cifras dan información sobre la duración del secado de madera de *Eucalyptus globulus* cultivado en España, desde una humedad del 85% (madera verde) hasta 10%, aplicando el método anterior:

- Tabla de corte tangencial de 27 mm de espesor: treinta días.
- Tabla de corte radial de 34 mm. de espesor: cuarenta y cinco días.
- Tabla de madera joven (primeros 15 anillos) y 35 mm. de espesor: treinta y cinco días.
- Tablón de 55 mm. de espesor: noventa días.

Fase	Etapas	C.H (%)	B.S (° C)	B.H (° C)	Dif. Psic (° C)
Pre secado	1	Verde	28	26	2
	2	50	28	25	3
Reacondicionado con vapor a H = 45%					
	3	35	33	30	3
	4	30	40	36	4
	5	28	45	41	4
	6	25	50	44	6
	7	22	55	48	7
Reacondicionado con vapor					
Secado	8	20	60	50	10
	9	18	60	48	12
	10	15	65	49	16

Fuente: Baso, 2004

Cuadro 3: Programa de secado para *E. globulus*

Las investigaciones de Fung (1976) (citado por Campbell *et al.*, 1978) en secado de tablas de 25 mm de espesor de *E. regnans* de treinta y cinco años con un contenido de humedad de 30%, muestran que el secado final puede ser ampliamente acelerado por un secado con alta temperatura de bulbo seco (130°C), amplia depresión del bulbo húmedo y alta velocidad del aire (10 m/s). La pérdida de calidad y valor, y la contracción que ocurren durante estas condiciones son comparables con aquellas que ocurren en el material secado convencionalmente, aparte de una decoloración de la madera poco importante. Si estas condiciones de secado son empleadas cuando la madera tiene altos contenidos de humedad inicial, un colapso y agrietado interno severo ocurrirán. Por citar un ejemplo, se observó pérdida importante de calidad y valor en madera de 160 X 38 mm de *E. pilularis* de 40 años de edad cuando se secó desde verde a 95°C de temperatura de bulbo seco¹³.

En estudios de comportamiento de secado de madera de *Eucalyptus dunnii* en estufa piloto convencional, se probaron tres programas de secado. El primer programa, tenía una temperatura inicial de 40° C y la misma se elevó gradualmente a 50° C hasta el punto de saturación de las fibras. El segundo programa, se inició con una temperatura de 45° C y se elevó de forma gradual hasta 50° C hasta el punto de saturación de las fibras. De la misma forma, en el tercer programa se elevó la temperatura inicial de secado a 50° C y esta se llevó gradualmente a 65° C en el punto de saturación de las fibras. Teniendo en cuenta que se utilizarían tres programas de temperaturas con tenores de humedad inicial creciente, se optó también por aplicar gradientes de secado crecientes: 2,5; 3,5 y 4,5 respectivamente. Cada programa de secado tuvo una vaporización inicial (pre vaporizado) de tres horas después de una hora de calentamiento inicial, y una vaporización intermedia de cinco horas para la recuperación del colapso cuando la madera se encontraba a 17% de humedad. El programa de secado más exitoso, en términos de calidad, se presenta en la Cuadro 4 (Severo, 2000):

Humedad de la madera (%)	Temperatura		H.R (%)	E.M.C (%)	Tiempo (h)	Pot. sec.
	S °C	H °C				
Vaporización inicial	100	100	100		3	
Verde – 50	40	37,5	85	17		2,9
50-40	43	40	84	16,2		2,8
40-30	45	41	79	14,2		2,5
30-22	50	45	74	12,6		2,1
22-17	55	44	51	7,7		2,5
Recuperación del colapso	100	100	100		5	
Inicio – 15	55	44	51	7,7		2,1
15-12	60	47	47	6,9		1,7

Fuente: Severo, 2000

Cuadro 4: Programa de secado para *E. dunnii* de 24 mm de espesor

El tiempo de secado obtenido en el programa presentado, fue 180 horas para secar la madera desde 80,2% hasta 12% de humedad final. Los otros dos programas estudiados, si bien lograron menores tiempos de secado, tuvieron un alto % de defectos en comparación con el primer programa.

¹³ Hartley, datos sin publicar; citado por Campbell *et al.*,(1978).

Revista da madeira (2000) cita el programa que Rocha (2000) plantea para tablas de *E. dunnii* con un espesor de 2.5 cm.

Fase	C.H (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	H.R (%)	CHE	P. S
0	Calentamiento	50	50	100	-----	-----
1	> a 50	50	48	89	18.2	2.74
2	50 a 40	55	51	81	14.2	2.82
3	40 a 30	55	49	72	11.7	2.56
4	30 a 25	60	52	66	9.9	2.52
5	25 a 20	65	56	64	9.1	2.2
6	20 a 15	65	54	57	8	1.88
7	15 a 10	60	53	69	10.7	0.93
8	10 a 8	65	52	51	7.1	1.13
9	Acondicionamiento	65	58	71	10.6	0.75

Fuente: Rocha, 2000.

Cuadro 5: Programa de secado para *E. dunnii* de 25 mm de espesor

Mantero *et al.*, (2003) con el fin de obtener tablas secas *E.dunnii*, realizaron el secado a escala industrial de 20 m³ de madera de esta especie. El secador se cargó con un 50% de tablas de corte tangencial y el restante 50% de corte radial. La velocidad del viento fue de 0.2 a 0.8 m/s. La estrategia de secado aplicada consistió en un período de calentamiento que llevó la temperatura de 18 a 35°C, luego una etapa de secado que se detalla en el siguiente cuadro, y finalmente, el proceso de acondicionamiento a temperatura de 60°C y contenido de humedad de equilibrio de la madera de 12%. El proceso completo se extendió por un período de 22 días, no obstante la calidad de secado no fue satisfactoria.

Humedad de la madera (%)	T (bulbo seco) (°C)	HR (%)	EMC (%)	
VERDE	34	35	90	20
34	24	40	85	16.8
24	18	45	77	13.9
18	13	50	70	11.9
13	7.7	55	26	4.6

Fuente: Martínez *et al.*,

Cuadro 6: Programa de secado de *E.dunnii* de 25 mm de espesor

Tuset *et al.*, (1986) proponen programas tipo, aplicables para maderas en estado verde y aquellas que han tenido algún proceso parcial de secado. Estos programas (ver cuadro N°7) deben entenderse como recomendaciones para las especies que se detallan:

C.H (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	HR (%)
> 40	40	37.5	85
40	48	45	84
30	50	45	74
20	55	46	60
15 hasta el final	60	49	55

Fuente: Tuset *et al.*, 1986

Cuadro 7: Programa de secado para *E. camaldulensis*, *E. globulus* *

* Este programa también es recomendado para *Quercus spp* y *Nothofagus dombey*

Boone *et al.*, (1988) sugieren algunos programas para varias especies de *Eucalyptus* basados en recomendaciones del USDA¹⁴ (1988) y de Pratt (1988). A continuación en los cuadros 8 y 9 se muestran dos programas para especies que presentan problemas de secado similares a los de *Eucalyptus camaldulensis*.

Programa Británico según Pratt			
C.H (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	HR (%)
Verde	40	37.5	85
60	40	36.5	80
40	45	40.5	75
35	45	39.5	70
30	45	38.5	65
25	50	42	60
20	60	47.5	50
15	65	48.5	40

Fuente: Pratt, 1988

Cuadro 8: Programa de secado para *E. delegatensis*¹, *E. diversicolor*², *E. globulus*³, *E. maculata*, *E. marginata*², *E. microcorys*², *E. obliqua*¹, *E. pilularis*, *E. regnans*¹.

¹Se recomienda un secado previo al aire y un tratamiento de reacondicionado.

² Se recomienda un secado previo al aire.

³Tendencia al alabeo y al colapso; el tratamiento de reacondicionado para remover el colapso se recomienda hacerlo con la madera en un C.H de 20%.

Programa USDA: 4/4, 5/4, 6/4 de espesor					
Paso n°	CH (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	CHE (%)	HR (%)
1	> 40	43.5	41	17.6	87
2	40 a 35	43.5	40.5	16.3	84
3	35 a 30	43.5	39	13.6	76
4	30 a 25	49	41	9.9	62
5	25 a 20	54.5	37.5	5.7	35
6	20 a 15	60	32	2.9	15
7	15 a final	71	43.5	3.4	21
Ecuilizado					

Fuente: FPL, 1988.

Cuadro 9: Programa de secado para *E. globulus*¹, *E. diversicolor*² y *E. marginata*².

¹Tendencia al alabeo y al colapso; el tratamiento de reacondicionado para remover el colapso se recomienda hacerlo con la madera en un C.H de 20%.

² Se recomienda un secado previo al aire.

Bachrich, (1980) desarrolla un programa de secado basado en el contenido de humedad para las siguientes especies: *E. pilularis*, *E. globulus*, *E. saligna*, *E. maculata*, *E. crebra*, *E. marginata*, *E. diversicolor*, *E. regnans*, *E. microcorys* y *E. cordifolia*, que se presenta a continuación.

¹⁴ Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

H. de madera	Temperatura		H.R
	%	S °C	H °C
Verde	40.5	38	85
40	40.5	37	80
30	43.5	39	75
25	46	40.5	70
20	54.5	46	60
15	60	47.5	50

Fuente: Bachrich, 1980

Cuadro 10: Programa de secado propuesto por Bachrich

Hildebrand (1970) plantea su programa basado en una velocidad de aire de 2 m/s y demás condiciones de secado para materiales de 40 mm de espesor como máximo. Para piezas de mayores espesores, condiciones más suaves que generen gradientes de humedad menos acentuados deben ser empleados. A continuación se presenta el programa planteado por este autor para los siguientes *Eucalyptus*: *E. pilularis*, *E. marginata*, *E. diversicolor*, *E. globulus*, *E. maculata*, *E. obliqua*, *E. saligna* y *E. microcorys*. Este programa también fue recomendado para el secado en horno de especies de roble de difícil secado.

H. Madera	Temperatura		HR	EMC	G.S
	%	S °C			
Hasta 60	51	48.0	85	16.0	-
60 – 40	51	47.0	80	14.2	-
40 – 35	54	49.0	75	12.4	-
35 – 30	54	47.5	70	11.2	-
30 – 25	56	48.0	65	10.0	3.00 - 2.50
25 – 20	59	49.5	60	9.00	2.78 - 2.22
20 – 16	62	50.5	55	8.00	2.50 - 2.00
16 – 14	65	51.5	50	7.00	2.28 - 2.00
14 – Final	67	51.5	45	6.20	2.23 - 1.00

Fuente: Hildebrand, 1970.

Cuadro 11: Programa de secado para especies del género *Eucalyptus*

Un programa específico para secado de eucalipto colorado en horno convencional de la empresa Pocono S. A., hasta un contenido de humedad de 10%, se presenta en el Cuadro 12 (Autor desconocido, 1998). Para tablas de 1 pulgada de espesor, se encastillan con separadores de 1 pulgada en horno con velocidad de aire de 1 a 1.5 m/s, sin posibilidad de cambiar el sentido de los ventiladores.

Cumplido el acondicionamiento tal como se indica, dejar enfriar el horno con la madera adentro. Adecuar los valores del termómetro seco y de humedad relativa, de modo que se mantenga 10% como humedad de equilibrio.

Northway (19??) plantea un programa para el secado de *E. tereticornis* y *E. globulus* de 25 mm de espesor, que se muestra en el cuadro 13.

C.H (%)	B. S (°C)	H.R (%)	Detalles
Verde	25	90	24 horas
Hasta 60	28	85	
60 a 50	35	83	
50 a 40	38	83	
40 a 35	40	80	
35 a 30	43	77	
30 a 25	45	74	
25 a 20	50	72	
20 a 15	55	65	
15 a 12	55	57	
12 a 10	55	50	^a
Acondicionado	55	54	4 horas. ^b

Fuente¹⁵: Com. Pers. (2005)

Cuadro 12: Programa de secado para eucalipto colorado

^a Hasta que las muestras más húmedas dan promedio no mayor a 10%.

^b Comprobar que las muestras más húmedas dan promedio no mayor a 12% y con peinetas comprobar que no hay tensiones.

C.H (%)	TBS (°C)	DBH (°C)	TBH(°C)	HR (%)	CHE
Verde	45	3	42	84	16
60	45	3	42	84	16
40	50	4	46	80	15
35	50	4	46	80	15
30	55	5	50	75	12.5
25	60	8	52	65	10
Es práctica común secar al aire hasta 20 % de C.H.					
Reacondicionar colapso a 20 % de C.H., corazón con C.H. < 25%					
20	100	0	100	100	27+
25	60	8	52	65	10
20	70	10	60	60	8.5
15	70	15	55	45	6.5
Homogeneizar el C.H cuando las tablas lleguen al 10 %.					
10 – 18	70	5	65	78	12
Acondicionar cuando el C.H. llegue a 12 – 15%					
12 – 15	80	3	77	87	14

Fuente:Northway, (???)

Cuadro 13: Programa recomendado para *E. tereticornis* y *E. globulus*.

En estudios realizados por Andrade (2000) sobre programas de secado convencional para diferentes especies, propuso un programa para *E. tereticornis* basado en trabajos realizados con *E. grandis* y otras maderas de difícil secado. Dicho programa se presenta en el Cuadro 14.

¹⁵ Mantero ,(2005)

H. madera	Temperatura		H.R	EMC	G.S
	S ° C	H° C			
%			%	%	
Calentamiento	40	39.0	94	21.6	-
Hasta 50	40	38.5	91	19.8	-
50	40	38.0	88	18.3	2.73
40	40	37.5	85	17.0	2.35
30	40	36.5	80	15.1	1.99
25	47	41.5	69	12.0	2.08
20	54	46.5	64	10.0	2.00
15	60	48.5	52	7.6	1.97
10	60	41.0	31	4.9	2.05
5	60	32.0	13	2.6	1.92

Fuente: Andrade 2000.

Cuadro 14: Programa de secado para *E. tereticornis*

Kantay, (1999) estudió las propiedades de secado de madera aserrada de *Eucalyptus camaldulensis*. Este autor, obtuvo un tiempo de secado de 490 horas para secar madera aserrada de 25 mm de espesor, desde un contenido de humedad de 50% a 7%. Las condiciones de secado fueron: humedad relativa de 93% y temperatura de 35°C al inicio; humedad relativa de 25% y temperatura final de 50°C al final del secado.

Martins *et al.*, (1999) elaboraron programas de secado para varias especies de *Eucalyptus*, entre ellas *E. camaldulensis*. Para lograr un programa adecuado se realizaron distintos tests preliminares en estufa de laboratorio con circulación forzada de aire (2 m/s), a tres niveles de temperatura (80, 60 y 45 °C). En el Cuadro 15 se presenta el programa que, en términos de calidad, tuvo mejores resultados. Los resultados obtenidos con este programa indican que la madera de *Eucalyptus camaldulensis* presenta un secado muy lento (30 días).

Contenido de humedad (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	CHE (%)	HR (%)
Verde -- 30	40	38	18,0	88
30 -----25	50	44	11,5	70
25 -----20	50	43	10,5	66
20 -----15	60	48	7,5	52
15 -----10	65	50	6,5	45
Acondicionamiento (6 horas)	65	61	14,0	82

Fuente: Martins *et al.*, 1999.

Cuadro 15: Programa de secado para *E. camaldulensis* de 25 mm de espesor

El programa que se presenta en el Cuadro 16 fue diseñado para el secado de *Eucalyptus camaldulensis* en el horno piloto del LATU¹⁶. Como se trataba de la primera experiencia en el secado de esta especie se diseñó un programa con pasos moderados. Las dimensiones de las tablas secadas fueron de 40 mm x 125 mm x 3,10 m, la estiba se llevó desde un contenido de humedad inicial de 62 % a un contenido final de 11,5 %.

¹⁶ Laboratorio Tecnológico del Uruguay.

La estiba se realizó utilizando separadores de 24 x 24 mm colocados cada 40 cm y se aplicó un peso de 1800 kg (663 kg / m²). El tiempo total de secado fue de 59 días para *E. camaldulensis*¹⁷ (Com. Pers. 2005)

CH MEDIO (%)	Tiempo (días)	TBS (°C)	TBH (°C)	DBH (°C)	CHE (%)	HR (%)	GS	vel. aire (m/s)
50+	0	40	39	1	21,9	94	2,27	0,6
40,0	6	41	38,5	2,5	16,8	85	2,38	0,6
35,0	19	43	40	3	15,5	82	2,26	0,6
30,0	20	45	41	4	13,7	77	2,19	0,6
27,5	21	49	44,5	4,5	13,2	76	2,08	0,6
25,0	24	50	45	5	12,6	74	1,98	1
23,0	26	51	45,5	5,5	12,0	72	1,92	1
21,0	28	52	46	6	11,5	70	1,83	1
20,0	31	53	46,5	6,5	11,0	68	1,82	1
19,0	33	55,5	48,5	7	10,7	67	1,78	1
18,0	42	57	49	8	10,0	64	1,80	1
17,0	45	58	49	9	9,3	60	1,83	1
16,0	46	59	49	10	8,4	55	1,90	1
15,0	50	60	48	12	7,8	51	1,92	1
14,0	51	60	46	14	7,1	46	1,97	1
12,0	53	62	45	17	5,9	37	2,03	1
12,0	57	59	49	10	8,4	57	1,43	1
12,0	59	58	51	7	11	68	1,12	1

Fuente¹⁸: Com. Pers. (2005).

Cuadro 16: Programa de secado para *Eucalyptus camaldulensis*

CHM= Contenido de humedad de la madera

TBS= Temperatura de bulbo seco

TBH= Temperatura de bulbo húmedo

DBH= Depresión de bulbo húmedo

EMC= Contenido de humedad de equilibrio

HR= Humedad relativa

GS= Gradiente de secado

ACOND= Acondicionamiento

Hasta el momento, se han presentado una serie de programas para el género *Eucalyptus* que incluyen, en todos los casos, una vaporización para la recuperación de colapso. Por esta razón, a continuación se profundiza en este tratamiento.

El reacondicionado para el colapso es una práctica estándar en Australia que no puede ser evitada cuando la calidad del producto final es el objetivo. El colapso es dependiente de una

¹⁷ Mantero, (2005)

¹⁸ Venturino 2005

interacción compleja entre la temperatura de secado, el contenido de humedad de la madera, la densidad y otros factores listados por Bariska *et al.*, (1987) (citado por Vermaas, 1995); de hecho este fenómeno no está completamente comprendido aún. La consecuencia más importante de este defecto es la deformación que provoca en la madera, que puede ser removida con éxito por un proceso de reacondicionado (100° C/100% de humedad relativa por unas 6 a 8 horas) tal como lo realizan los australianos. Las grietas causadas por el agrietado interno podrán cerrarse durante este tratamiento, pero la pérdida de resistencia de la madera es irreversible (Vermaas, 1995).

Kollmann *et al.*, (1968); Simpson (1991); Walker *et al.*, (1993) (citados por Rozas, 1993), manifiestan que el tenor de humedad recomendado para la vaporización es 15%. Mackay (1972), trabajó con madera de *Eucalyptus delegatensis* colapsada, secada a tenores de humedad de 5, 12 y 18% y encontró que el tratamiento al 12% fue el más adecuado para la recuperación de colapso. Cech *et al.*, (1977) (citados por Rozas, 1993), plantean que el tratamiento de vaporización más eficiente es aquél realizado en tenores de humedad de 20%. En tanto que para Bluhm *et al.*, (1965), la recuperación de colapso debe ser realizada cuando la madera tiene un 17% de humedad.

El estudio realizado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca del Uruguay (1996), plantea que esta etapa tarda entre 5 y 8 horas dependiendo de la especie de eucalipto. No debe reacondicionarse, bajo ninguna circunstancia, madera con un contenido de humedad que exceda el 20% en su punto más húmedo. Durante el proceso de reacondicionamiento, el contenido de humedad de las tablas aumenta hasta alrededor de 23%. El vaporizado agrega de un 3 a 4% de contenido de humedad a la madera, pero la mayoría en las zonas exteriores.

En términos de reducción de la contracción total, como resultado del reacondicionado, las pruebas de laboratorio muestran que, para tablas de corte tangencial de 1 pulgada de *Quercus kelloggii*, las contracciones en ancho y espesor antes del reacondicionado fueron 7.3 % y 9.5 %, respectivamente. Posteriormente al reacondicionado, las contracciones se redujeron a 4.6% y 4.3%, respectivamente (las mediciones fueron tomadas a 8% de contenido de humedad). Además, el abarquillado y otras formas de alabeos fueron completamente removidas (Ellwood, 1959).

Previo a reacondicionar la madera se deben tomar precauciones, ya que si hay grietas superficiales el reacondicionado además de no removerlas, puede incluso hacerlas considerablemente más aparentes. Por lo tanto, es necesario adoptar buenas prácticas de secado para prevenir el desarrollo de grietas. Para las maderas más susceptibles al colapso, resultados óptimos han sido obtenidos si la madera es reacondicionada a contenidos de humedad de 15% a 18%. Reacondicionado a contenidos de humedad más altos o más bajos, se obtienen resultados menos efectivos. La técnica de reacondicionado ha mostrado ser poco efectiva en maderas expuestas a secado en horno a elevadas temperaturas en etapas iniciales del proceso. Por esta razón, una buena práctica es secar al aire el material hasta un contenido de humedad por debajo del 20 %, reacondicionarlo y luego completar el secado en el horno; no habrá ocurrencia de colapso en el secado subsecuente. Este procedimiento es recomendado para el roble negro de California (*Quercus kelloggii*) y para el tanoak (*Lithocarpus densiflorus*), ambas especies muy susceptibles a este defecto. Si por alguna razón, estas especies son secadas en horno, se deberá ser cuidadoso en las condiciones de pre secado. Éste deberá interrumpirse a contenidos de humedad de 15 – 18 %; allí el material deberá reacondicionarse y posteriormente terminar de secarse. Si cualquiera de estas especies son pre secadas en horno, antes del reacondicionado se obtendrán mejores resultados en recuperación, si previo a

implementar esta técnica el material es estacionado por tres semanas (Ellwood, 1959; citado por Ellwood, 1962).

D. CALIDAD DE SECADO

Si la pérdida de calidad y valor de la madera producto del secado no fuera relevante, este proceso podría llevarse a cabo en cuestión de horas. De hecho, varias coníferas pueden ser secadas en esa situación con muy poca decoloración, alabeos y rajado. Sin embargo para las latifoliadas de alto valor, la calidad es extremadamente importante. Aún una pequeña falla puede implicar que esa pieza o sección sea imposible de utilizar como parte de un mueble u otro producto comercial (Wengert *et al.*, 1988).

Cuando se consideran los costos de secado de la madera – amortización del capital, energía, trabajo, etc.- la mayor parte de éstos tiene que ver con la pérdida de calidad. Por citar un ejemplo, en el este de Estados Unidos es común que en el secado al aire ocurran pérdidas del 13%, en maderas como roble. En cambio con un adecuado secado en horno, las pérdidas son del orden de un 2% o incluso menores (Wengert *et al.*, 1988).

La pérdida de calidad tiene cinco causas principales:

1. Un secado muy rápido que puede causar: grietas superficiales, grietas internas, grietas en las cabezas y rajado.
2. Un secado muy lento que puede resultar en: decoloraciones y hongos, agravamiento del agrietado superficial e incremento dramático del alabeo, especialmente el abarquillado y el arqueado.
3. Un pobre apilado, que puede agravar especialmente el combado y/o arqueado.
4. Errores operacionales, como el uso de un programa equivocado, remoción inadecuada de las tensiones (mal acondicionado), contenido de humedad final inapropiado o re humedecimiento de madera ya seca. Estos errores pueden resultar en varios problemas subsecuentes de procesamiento, así como también agravar la pérdida ya existente de calidad y valor.
5. Factores relacionados a la madera en sí: madera de tensión o infección bacteriana, que pueden causar alabeos y agrietado respectivamente.

La clave para controlar la mayor parte de las pérdidas de calidad y valor (excepto los puntos 3 y 5) es manejar la tasa de secado, por ejemplo, cuidando la pérdida de contenido de humedad diaria de la madera. En este control está implicado el cuidado en las mediciones de humedad y el conocimiento de la tasa de secado correcta para la madera que está siendo secada. Un horno correctamente operado tiene el potencial de limitar las pérdidas de calidad y valor a menos de un 2% del valor de la madera. Por esta razón, cuando se selecciona, evalúa y mantiene un sistema o equipo de secado, la primera pregunta que uno debería hacerse es “¿cuánto afectará esta decisión o acción la calidad de secado?”. Una vez que esta pregunta es respondida, la siguiente será: “¿cuánto tiempo se ahorrará? o ¿cuánta energía se ahorrará?” (Wengert *et al.*, 1988).

Medidas como el aserrado con cortes radiales, pre vaporizado, pre secado fuertemente controlado, período intermitente o de espera y el reacondicionado final en cámaras separadas de vaporizado, son todas importantes ya que contribuyen a lograr un secado de calidad en la madera del *Eucalyptus*. Una gran calidad de secado en la madera es la clave para obtener el mejor precio posible para aplicaciones “a la vista” (Vermaas, 1995).

Según Severo (2000), la baja temperatura inicial y la alta humedad relativa aplicada durante la fase inicial de secado sugerida por varios autores (Kauman, 1961; Bluhm *et al.*, 1965; Campbell *et al.*, 1978; Brennan *et al.*, 1983), contribuyeron al bajo porcentaje de rajaduras obtenidos con el programa sugerido para *E. dunnii*. Sus resultados muestran que, entre los programas de secado utilizados solamente el programa considerado más suave presenta un buen resultado en términos de calidad de madera seca (ver sección anterior). Entre los defectos encontrados se pueden citar: 37,5% de colapso, 35% de abarquillado y 10% de rajaduras. De estos valores, solamente 15% de colapso y abarquillado fueron clasificados como defectos fuertes. Resultados semejantes fueron obtenidos por Rozas (1993) con madera de *Eucalyptus grandis* de 30 mm de espesor. En ese estudio, el autor obtuvo cerca de 42% de colapso, 50% de abarquillado y 5,6% de rajaduras.

Bekele, (1994) estudiando la implementación de programas de secado para *E. globulus* y *E. camaldulensis*, utilizó un programa con bajas temperaturas y otro con elevadas temperaturas. Ambos programas de secado dieron resultados satisfactorios en materia de calidad para tablas de 32 mm de espesor. La pérdida de calidad y valor obtenida del secado a bajas temperaturas fue menos importante que la registrada a altas temperaturas. A su vez, en este estudio se probó que las tablas de *E. camaldulensis*, generalmente, poseen menor pérdida de calidad y valor que las tablas de *E. globulus*. El acondicionamiento de los materiales secados al horno, redujo la magnitud de las pérdidas de calidad y valor por secado en la mayoría de los casos. El acondicionamiento en horno, redujo los valores de deformación en magnitud pero no siempre los valores de agrietado. Sellar las cabezas con pasta de silicona dio, generalmente, mejores resultados que las tablas no selladas con ambos programas de secado.

Langrish *et al.*, (1992) estudiaron el efecto de las condiciones de secado en la calidad y tiempo de secado para *Nothofagus fusca*, una latifoliada de Nueva Zelanda difícil de secar. El secado intermitente, a 45° C de temperatura de bulbo seco y 10 °C de depresión de bulbo húmedo, insumió más tiempo para alcanzar un determinado contenido de humedad que el secado continuo, bajo las mismas condiciones, pero produjo madera sin grietas internas o encostramiento severo. Los experimentos también indicaron que la madera secada intermitentemente puede tolerar una mayor temperatura del bulbo seco (55° C), a la misma depresión del bulbo húmedo, obteniendo mejor calidad de secado (menor encostramiento y sin agrietado interno) que cuando éste es continuo a 45° C, aún cuando en ambos casos el tiempo de secado total es similar. El secado intermitente, a una temperatura de bulbo seco (60° C) apenas mayor y una depresión del bulbo húmedo (18° C) mucho mayor, genera un grado de encostramiento similar al que se encontró en muestras secadas continuamente a una temperatura del bulbo seco de 45° C.

Waugh *et al.*, (1991) (citados por Vermaas, 1995), recomendaron el siguiente procedimiento para obtener calidad de secado en rebrotes jóvenes de *E. regnans*:

1. Las tablas deben ser mantenidas encastilladas, envueltas en una película de plástico en un sitio cerrado, con rociadores de agua desde el tiempo en que son cortadas hasta que son apiladas para el secado.
2. El secado en horno desde verde, debe realizarse bajo condiciones de presecado muy controladas (controladores basados en microchips) de alrededor de 35° C de temperatura de bulbo seco y depresión del bulbo húmedo de 2° C, y una velocidad de

aire de 0.5 m / s.

3. Rociar con agua para el reacondicionado húmedo (6hs) .
4. Tratamiento de secado final en horno para llevar el contenido de humedad a 12%.

Los tiempos de secado para material de 40 mm en pre secaderos, fueron de aproximadamente 10 semanas.

Campbell¹⁹ (sin publicar), obtuvo una calidad inicial de secado satisfactoria, trabajando con una mezcla de tablas de corte radial y tangencial de 25 mm de espesor de árboles de 20 años de edad. Para el secado, este autor aplicó como condiciones iniciales, una temperatura de bulbo seco de 60° C y una depresión de bulbo húmedo de 28° C. No obstante, algo de agrietado y pronunciado abarquillado se desarrolló en las tablas de corte tangencial. Un colapso moderado ocurrió, pero el reacondicionado dio una buena recuperación de las dimensiones. Los resultados mostraron, que aunque sea posible secar la madera de *Eucalyptus* jóvenes y de rápido crecimiento en horno, la tendencia al agrietado y rajado del material que contiene médula es un fenómeno inevitable.

Este mismo autor, secando tablas de 25 mm de espesor de *E. obliqua* de 24 a 28 años desde 102% (verde) a 12% de contenido de humedad, obtuvo una calidad de secado satisfactoria, con pequeño colapso y agrietado. Por otro lado, tablas de 25 mm de espesor de *E. sieberi* de la misma edad, secadas con un programa similar, mostraron un pronunciado rajado y agrietado, particularmente donde la médula estuvo presente. La magnitud del colapso varió desde leve a severo. Sin embargo, el reacondicionado mejoró mucho la apariencia general del material.

Los estudios de laboratorio en material de 100 X 38mm de árboles de *E. pilularis* de 40 años de edad, indicaron que puede ser secado en horno desde verde con una pérdida de calidad y valor dentro de límites aceptables. La temperatura de secado máxima crítica en los estados iniciales, para evitar las grietas internas, fue de 50 a 60° C (Hartley, no publicado)²⁰.

Secando al aire *E. globulus* y *E. camaldulensis*, se estudió la calidad de secado de ambas especies. La pérdida de calidad y valor de la mayoría de las tablas después del secado al aire fue aceptable de acuerdo a los estándares australianos. Los valores de deformación se incrementaron después del acondicionamiento, pudiendo ser la mayoría reducidos a un nivel aceptable mediante cepillado. Como recomendación en términos de calidad surge que, al planear un secado al aire se deberían seleccionar con cuidado las dimensiones de la madera y las condiciones a las cuales el material será expuesto (Bekele, 1995).

El agrietado siempre es la mayor causa de pérdida de calidad y valor durante el secado, especialmente en el caso de latifoliadas. En el secado convencional, la tasa de secado deberá ser disminuida para eliminar consecuentemente el agrietado ya que la pérdida de calidad y valor

¹⁹ Citado por Campbell *et al.*, (1978)

²⁰ Citado por Campbell *et al.*, 1978).

se reduce a expensas del tiempo de secado; por lo tanto, el tiempo requerido para secar latifoliadas susceptibles a pérdida de calidad y valor puede ser muy largo (Vermaas, 1995).

Neumann *et al.*, (1992) (citados por Vermaas, 1995), estudiaron los efectos de la temperatura del bulbo seco, la depresión del bulbo húmedo y los tratamientos con alta humedad en la formación de grietas durante el secado de *E. globulus*. El resultado muestra, que el daño causado por las grietas dentro de las tablas fue significativamente menor en el secado convencional cuando la temperatura inicial fue baja (preferentemente debajo de 30° C) y las capas superficiales fueron periódicamente rehumedecidas a bajas temperaturas (cuatro veces al día; 30 minutos; TBS = 50° C; DBH = 2° C.) La mayor reducción de agrietado fue alcanzada cuando las tablas fueron pre vaporizadas antes del secado. Bajo las condiciones anteriores, fue posible secar tablas de corte radial de 60 mm de espesor y tablas de corte tangencial sin grietas significativas. Stöhr *et al.*, (1984) (citados por Vermaas, 1995) también obtuvieron menor pérdida de calidad y valor usando los tratamientos de humedad en *E. grandis* joven.

Los primeros estudios en *E. regnans* de 25 años de edad (Thomas, 1936; citado por Campbell *et al.*, 1978) y en tablas de 25 mm de espesor de *E. pilularis* (Wright, 1937; citado por Campbell *et al.*, 1978), indicaron que el agrietamiento en las cabezas de las tablas de corte tangencial no podía ser evitado, y que a su vez, eran peores en el material joven. La tendencia a mayor rajado superficial en material joven y de rápido crecimiento, es observada en reportes sobre *E. maculata* y puede presentarse en otras especies del género (Campbell *et al.*, 1978).

Ralph *et al.*, (1984) (citados por Vermaas, 1995), describieron un proceso por el cual se cubren las cabezas de las tablas con un material semipermeable (películas de PVC pegadas con adhesivo de PVA) antes de secar en hornos, para minimizar el gradiente de humedad a través de la madera y con ello reducir las tensiones superficiales que causan agrietado. El proceso permite mejoras significativas en porcentajes de recuperación, rendimiento y valor del producto final. Waugh *et al.*, (1991) (citados por Vermaas, 1995) no consideraron exitoso este tratamiento debido a la complejidad para obtener la combinación óptima entre película adhesiva y tasa de secado con el fin de evitar pérdida de calidad y valor. A pesar de esto, encontraron un marcado decrecimiento en la tasa de agrietado superficial temprano, marcadas mejoras en el agrietado superficial e interno en tablas con espesores de 50, 40 y 25 mm respectivamente.

El alabeo puede ser, en la mayoría de los casos, minimizado con técnicas como el vaporizado de la madera aserrada. Ésta es mantenida derecha mediante pesos u otras formas de contención (J. Hartley²¹, no publicado)

La deformación más importante que aparece después del secado, en piezas de hasta 1.5m de longitud y 15 cm de ancho, es el abarquillado. Esta deformación es máxima en las piezas con anillos de crecimiento inclinados 45° respecto a la cara, y mínima o prácticamente nula cuando los anillos están a 90° y 0° (tablas radiales y tangenciales respectivamente). El curvado de canto y de cara pueden aparecer si en las piezas hay presencia de madera juvenil y/o tensiones de crecimiento (Campbell *et al.*, 1978).

Con vistas a la obtención de piezas de elevada calidad, perfectamente secas y sin deformaciones, es conveniente diseñar el método de aserrado de forma que se consigan

²¹ Citado por Campbell *et al.*, 1978.

piezas lo más radiales o tangenciales posibles y se eliminan, tanto la médula como los primeros anillos. Cómo es lógico, el sistema de corte elegido debe ser compatible con la existencia o no de tensiones de crecimiento (Campbell *et al.*, 1978).

A menos que se realice un perfecto acondicionado para eliminar las tensiones de secado y disminuir el gradiente, interesa que las piezas se sequen con un espesor y un ancho cercanos a los finales para disminuir la incidencia del abarquillado (Campbell *et al.*, 1978).

Numerosos estudios (Bootle, 1973; Campbell, 1975; citados por Campbell *et al.*, 1978; Tuset *et al.*, 1987) han confirmado que el material que proviene de la zona cercana a la médula (madera con una proximidad de unos 50 mm a la médula) es particularmente propenso a sufrir agrietado superficial y rajado en las cabezas. La mayoría del rajado es causado por la presencia de tensiones de crecimiento y no es primariamente un defecto de secado. Las rajaduras usualmente se extienden durante el secado y son una forma seria de pérdida de calidad y valor en el material (Campbell *et al.*, 1978).

Un mezcla de tablas de 25 mm de espesor de cortes radial y tangencial, de rebrotes de *E. grandis* y *E. pilularis* de 16 años de edad, fueron secadas al aire juntas desde verde (Marshall, 1957; citado por Campbell *et al.*, 1978). Hubo poca pérdida de calidad y valor en las tablas obtenidas de madera lejana a la médula. No obstante, las tablas que contenían médula o estaban cercanas a ésta, desarrollaron mucho agrietado, rajado en las cabezas, abarquillado y colapso (Campbell *et al.*, 1978).

Álvarez *et al.*, (1999) encontraron que las pequeñas y numerosas grietas internas que aparecen en la madera de verano de los anillos próximos a la medula se podían adjudicar al colapso celular. La presencia de médula o de los primeros anillos (madera juvenil) en una pieza, da lugar a la aparición de un importante agrietado superficial de gran profundidad a lo largo de ella. Este defecto la inutiliza totalmente, por lo tanto, la médula y los cuatro o cinco primeros anillos de crecimiento, deben ser eliminados mediante un aserrado adecuado para obtener piezas de calidad.

Un problema común, asociado más con el material joven que con el maduro, es el agrietado interno causado por el colapso, particularmente en la madera cercana a la médula. Este defecto, es agravado por las elevadas temperaturas iniciales en el secado pero también puede ocurrir a temperatura ambiente. Si bien, el reacondicionado cierra las grietas internas, subsecuentemente puede exponerlas dándoles la apariencia de grietas superficiales (Campbell *et al.*, 1978). En el presente, nada puede hacerse para eliminar este problema, el cual puede restringir seriamente la utilización de la madera para varios productos.

En Australia, se secó al aire madera de *E. regnans* de 37 años, de corte tangencial en espesores de 25, 38 y 50 mm, hasta un 16-18 % de humedad. Posteriormente se reacondicionó durante 6 a 8 horas y finalmente, se secó en horno. Hubo poca ocurrencia de agrietado superficial y se obtuvo un material de buena calidad como producto final. Además, el reacondicionado no agravó seriamente el agrietado en las cabezas (Campbell *et al.*, 1978).

III MATERIALES Y MÉTODOS

De un lote de 172 tablas de *Eucalyptus camaldulensis* se seleccionaron 126; todas con ambos extremos sellados mediante la aplicación de esmalte sintético. Fueron excluidas todas aquellas piezas que provenían de cortes cercanos a la médula, que poseían gran cantidad de nudos (vivos o muertos), o bien que éstos fueran de gran tamaño.

La madera fue proporcionada por el Ing. Agr. Alfredo Clement, La misma proviene de 2 árboles de 70 a 80 años y 80cm de diámetro en la base, de una plantación de abrigo ubicada en la localidad de Estación Pampa, departamento de Tacuarembó.

Las trozas fueron cortadas el día 28 de abril de 2005 según el diagrama de corte mostrado en la Figura 3 (corte con giros; CIS Madera., 2001), obteniéndose así piezas de sección radial, tangencial y cortes intermedios de 39 x 3100 mm de espesor y largo respectivamente con anchos variables. Estos tablones fueron redimensionados mediante sierra circular al ancho de 153 mm.

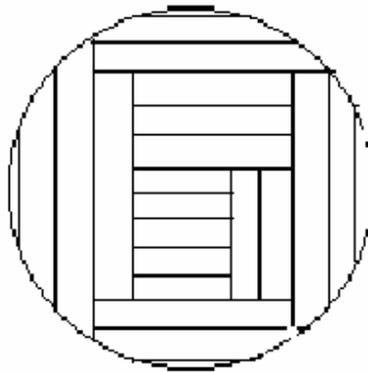


Figura 3. Diagrama de corte usado para obtener las tablas

Se utilizó un horno convencional piloto marca Nardi, instalado en el Laboratorio de Proceso Físicos del Instituto de Ingeniería Química de Facultad de Ingeniería, cuyas características se detallan a continuación:

- Dimensiones por debajo del falso techo de la cámara de secado 2 x 1,5 x 3,1m ancho, altura y largo respectivamente.
- Sistema de calefacción eléctrica
- Sistema de humidificación con agua o con vapor para el que hay instalada una caldera eléctrica.
- Ventilación forzada, con dos ventiladores de 80cm de diámetro, giro reversible y velocidad de giro regulable.
- Sistema de control automático de: Temperatura, Contenido de Humedad de Equilibrio y Contenido de Humedad de la Madera en el interior de la cámara marca Nardi Modelo Leonardo, conectado a un PC, que permite dirigir el secado por tiempos, humedad de la madera y gradiente de secado.

El castillo fue armado con 21 camadas de 6 tablas cada una, con 4 separadores por camada, distanciados 1m entre. Sobre la camada superior fueron colocados tensores que se ajustaron en la medida que avanzaba el proceso (ver Figuras 4 y 5).

Se midió la velocidad del viento con velómetro Alnor en todos los espacios entre camadas, para diferentes velocidades de giro de los ventiladores y en tres ubicaciones en profundidad del horno (frente, medio y fondo).



Figura 4. Castillo de madera, vista lateral, con el detalle de la ubicación de las muestras y numeración de las tablas.

Previo al secado, fueron seleccionadas 24 tablas para las testigos de humedad (bolsillos) y para observación de calidad, según la metodología propuesta por Fell *et. al.*, (1980). Estas tablas se ubicaron de tal forma de tener muestras en todos los sectores del horno; en altura, profundidad. En la Figura 4 se pueden observar 8 puntos de muestreo, 4 de cada lado del castillo; a su vez en cada punto de muestreo hay 3 muestras identificadas con la letra A y su correspondiente número (del 1 al 24), una en el borde del castillo, y dos más (contiguas) al interior del mismo. En ese momento se determinó la humedad inicial de la carga. Para eso se cortaron dos probetas de 2,5 cm de ancho (ver Figura 6), en ambos extremos para cada una de las muestras de 50cm de largo. Esas probetas fueron inmediatamente pesadas en balanza con precisión de 0,01g y puestas a secar estufa eléctrica a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta peso constante, mientras que a las muestras se le aplicó un esmalte sintético en los extremos para impedir la pérdida de humedad. Se obtuvo el contenido de humedad inicial de cada probeta. Promediando el contenido de humedad de las dos probetas se obtuvo la humedad de cada muestra. Y finalmente se calculó la humedad de la carga de madera promediando la humedad de las 24 muestras. El contenido de humedad inicial es necesario también para el cálculo del contenido de humedad de la carga de madera durante el proceso de secado, una vez que se calcula el peso anhidro de las muestras.

El 12 de mayo se puso a secar la madera luego de conservarla protegida con una cubierta plástica para evitar su secado y la aparición de defectos.



Figura 5: Foto del castillo dentro del horno de secado



Figura 6. Esquema de elaboración de probetas de humedad y muestras de humedad

A. PROGRAMA DE SECADO

Sobre la base de programas propuestos por diferentes autores e instituciones (Northway (19??); Martins. *et al.*, 1999; Venturino²², 2005; Vermaas²³, 2005; Bachirich, 1980; FPL, 1988; Álvarez *et. al.*, 1990; Andrade, 2000) que trabajaron específicamente con *E. tereticornis* y *E. camaldulensis* fue confeccionado el programa de secado que se presenta en el

²² Com. Pers

²³ Com. Pers.

Cuadro 17. Se procuró a su vez crear condiciones mas exigentes de temperatura e intermedias en Contenido de Humedad de Equilibrio entre los programas estudiados.

Etapa	C.H (%)	TBS (°C)	TBH(°C)	CHE (%)	GS	Cambio (°C/hora)	Tiempo (hs)
	Calentamiento	20				5	10
1	Verde-60	40	38,5	19,6	3,1		
2	60-50	43	40	15,8	3,2		
3	50-30	45	41	13,9	2,2		
4	30-28	50	45	12,7	2,2		
5	28-25	50	44	11,6	2,2		
6	25-23	53	46	10,7	2,1		
7	23-20	55	47	9,9	2,0		
8	Período de Espera						
9	Reacondicionamiento	100	100			10	8
10	18	65	55	8,6	2,1		
11	18-15	68	55	7,2	2,1		
12	15-10	70	55	6,4	1,6		
	Igualado	75	64	8			
	Acondicionado	75	71	13			
	Enfriado	20				5	

Cuadro 17: Programa elaborado para secado de la madera de *E. camaldulensis* en este trabajo.

El criterio para cambio en las condiciones de secado (temperatura y humedad) fue el contenido de humedad de la madera, medido por método de diferencia de peso de las muestras, usando una balanza con 0,1g de precisión. Durante todo el proceso se observó la calidad de la madera para así tomar decisiones sobre la conveniencia o no de realizar intervenciones o tratamientos especiales.

Previendo que el presecado rápido de la madera produzca un elevado gradiente de humedad, se consideró conveniente realizar un período de espera una vez que la madera alcance 20% de Contenido de Humedad, hasta que el gradiente sea 4 a 3% o bien que la humedad en el centro de la madera no sea mayor a 25%. La decisión sobre la extensión exacta de dicho período se tomó sobre la base de la eVolúmenución del gradiente de humedad; el cual fue evaluado con la extracción de probetas según metodología propuesta por Simpson (1991) (ver Figura 7). Este procedimiento se realizó 4 veces; al terminar el presecado, transcurrida la segunda, cuarta y quinta semana de Período de Espera. Debemos precisar que el período se extendió mas allá de la tercer semana para evaluar como continuaba eVolúmenucionando el gradiente de humedad.

Además de los criterios de Gradiente de Humedad y Contenido de Humedad en el centro de la madera se tomó en cuenta que la duración del Período de Espera coincida con un ciclo de pre secado. De esta forma, cuando una carga está en período de espera fuera del horno, otra puede estar siendo presecada dentro de este.



Figura 7: Foto de probetas de gradiente de humedad

Se inició el secado de la madera con una etapa de reacondicionamiento para recuperar el colapso producido durante el presecado. Una vez transcurrida esta etapa se evaluaron nuevamente la totalidad de los defectos de la madera. El proceso continuó hasta su finalización; al igual que en el presecado se observó diariamente la calidad de la madera junto al control de humedad.

B. CALIDAD DE MADERA

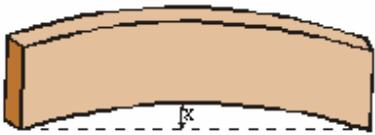
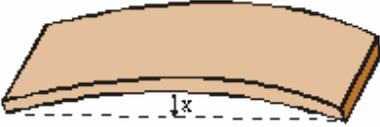
La evaluación de defectos tales como alabeos (UNIT 1985), grietas y rajaduras de cabeza se hizo a 102 tablas puestas a secar, según el criterio de IBDF, (1988) (citado por Martins *et al.*, 1999) (ver Figuras 8, 9 y 10 y Cuadro 18). El agrietamiento superficial fue evaluado según presencia o ausencia. El colapso fue evaluado según presencia, ausencia y al finalizar el secado por medio de cepillado de las superficies según los siguientes criterios citados por Severo (2000):

- No significativo (ns) cuando al quitarle 2,5mm a la superficie de la tabla se eliminaron las ondulaciones.
- Medio cuando al quitarle 3,5mm a la superficie de la tabla se eliminaron las ondulaciones de la superficie
- Fuerte cuando al quitarle 3,5mm a la superficie de la tabla no se eliminaron totalmente las ondulaciones.

Se tomó como criterio para medir % de rajado no solo rajaduras sino grietas de profundidad mayor a 5mm que motiven un despuntado de la madera para obtener piezas sin marcas en los extremos. Debemos aclarar que grieta y rajadura son defectos diferentes (Tuset *et. al.* 1986), que se tomaron en forma conjunta.

Los valores de encorvadura y combado están expresados como flecha en mm sobre una longitud de 2,6m. El abarquillado está expresado como flecha en mm sobre el ancho de las tablas (15cm).

Todos los defectos fueron evaluados en las diferentes etapas de proceso; al iniciarse y al finalizar el presecado, concluido el reacondicionamiento y al finalizar el secado. Completada las etapas de acondicionado y enfriado se cortaron probetas a 3 de las 24 muestras, para evaluar las tensiones de secado de la madera (ver figuras 21 y 22).

DEFECTOS		CLASIFICACIÓN
ALABEOS	Encorvadura 	$X \leq 2,5\text{mm}$ No significativo $2,5 < X \leq 5$ Medio $X > 5$ Fuerte
	Abarquillado 	$X \leq 4,0\text{mm}$ No significativo $4,0 < X \leq 6,0$ Medio $X > 6,0$ Fuerte
	Combado 	$X \leq 2,5\text{mm}$ No significativo $2,5 < X \leq 5$ Medio $X > 5$ Fuerte
	Torcedura 	$X \leq 2,5\text{mm}$ No significativo $2,5 < X \leq 5$ Medio $X > 5$ Fuerte
% DE RAJADO $\% \text{ DE RAJADO} = \frac{R1 + R2}{L} \times 100$ R1 y R2 es la longitud de la grieta o rajadura mayor en cada extremo de la tabla, L es la longitud de la pieza		$X \leq 2,5 \%$ No significativo $2,5 \% < X \leq 5 \%$ Medio $X > 5 \%$ Fuerte

Fuente: Martins *et al.*, (1999)

Figura 8: Análisis visual de defectos, de acuerdo con Martins *et al.* (1985).

Posterior al secado, la madera fue cepillada para corregir defectos tales como abarquillado, colapso y agrietamiento superficial. Del espesor de 37,5mm al final del secado se bajó a 34mm. Se evaluó la presencia o ausencia de cada defecto una vez concluido el cepillado.



Figura 9: Foto de medición de flecha de canto



Figura 10: Foto de medición de abarquillado

Tablas que presentan defectos (%)	Tendencia
0 a 10	Ausente
11 a 30	Pequeña
31 a 50	Moderada
51 a 100	Grande

Fuente: Martins *et al.*, (1999)

Cuadro 18: Clasificación da tendencia a presentar defectos de secado, de acuerdo con IBDF²⁴ (1988).

²⁴ Instituto Brasileiro de DesenVolúmenvimento Florestal.



Figura 11: Foto de tabla con colapso

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. PROGRAMA DE SECADO.

Durante el desarrollo del proceso fueron hechas modificaciones debido a características del mismo y limitaciones del equipo para lograr temperaturas elevadas en tiempos cortos; en el Cuadro 19 se presenta el programa efectivamente usado luego de concluido el proceso

Fase	C.H (%)	TBS (°C)	TBH(°C)	CHE (%)	GS	Cambio (°C/hora)	Tiempo (hs)
Calentamiento	63,9	15		20,5	3,1		33
1	Hi-54,8	40	38,5	19,6	2,8		87,5
2	54,8-46,6	43	40	15,8	3,5		71
3	46,6-38,9	45	41	13,9	3,9		89
				17,6	3,1	6	7
	Vaporizado	90	88,5	17	3,2		4
				16	3,4	6	8
	27,4	45	41	14,1	1,9		130
4	27,6-24,5	49	43,3	12	2,0		35
5	24,5-23	51	44,8	11	2,1		19
6	23-19,5	55	47,6	10,2	1,9		47
7	19,5-18,9	Ambiente			Período de espera		790
8	Calentamiento					9	9
	Reacondicionamiento	95	93,5	16,4			8
	Enfriado					5	10
9	18,9-14,1	45	35	8,3	1,7		64,5
10	14,1-11,7	67	57	8,4	1,4		46
11	Igualado	73	63	8,4	1,2		24
	Calentamiento					17	1
	Acondicionado	90	88	16			4
	Enfriado	30				5	12

Cuadro 19: Programa de secado resultante de este trabajo

La madera ingresó con 63,9% de humedad promedio, con valores de 82,6% y 52,2% de humedad máxima y mínima respectivamente; 15,4% fue el Coeficiente de Variación. Se finalizó el secado con la fase de igualado cuando la misma alcanzó un promedio de 10,1%; luego del acondicionamiento el contenido de humedad promedio fue de 10,2%, con un coeficiente de variación para las 24 muestras de 10,4% y valores máximo y mínimo de 11,6% y 7,3% respectivamente. (Ver Figura 12)

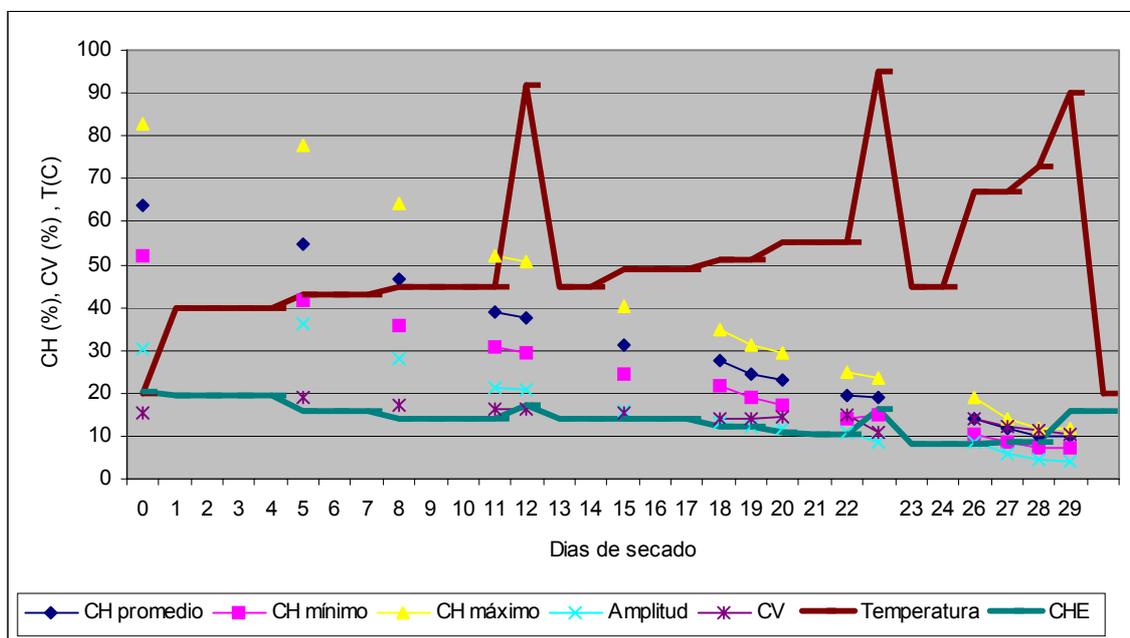


Figura 12: Gráfica de Contenidos de Humedad de la Madera y valores de Temperatura y Contenido de Humedad de Equilibrio en el proceso de secado.

La duración total del ciclo fue de 1499 horas, de las cuales 790 correspondieron al período de espera, por lo tanto el ciclo de secado en cámara fue de 709 horas (29,5 días). El presecado se extendió por 531 horas y el secado por 179 horas, siendo la relación días de secado sobre centímetros de espesor de 7,8. Como se observa en el Cuadro 20, la duración del proceso expresada en días de secado por cm de espesor, fue menor en relación a otros trabajos con *E. camaldulensis*.

Especie	Humedad (%)		Espesor (mm)	Duración	
	Inicial	Final		(días)	(días/cm)
<i>E. camaldulensis</i> *	60,5	11,7	25	30	12
<i>E. camaldulensis</i> **	50	12	40	59	14,8
<i>E. camaldulensis</i> ***	50	7	25	20,4	8,2

*Martins et. al. (1999). ** Venturino (Com. Pers., 2005). ***Kantay (1999)

Cuadro 20: Duración de secado en cámara para diferentes autores, según CH, y espesor de la madera

La velocidad de viento usada en el presecado y reacondicionado fue de 0,7m/s, ésta se eligió por ser un valor intermedio a los usados en trabajos precedentes. Waugh *et al.*, (1991) (citados por Vermaas, 1995) y Venturino²⁵ (2005), recomiendan 0,5 m/s. Bermúdez *et al.* (2001) trabajando con *E. globulus* usaron 1 m/s. Martins²⁶ (2005) y Hildebrand (1964) recomiendan 2m/s durante todo el proceso. Si bien no es recomendable aumentar la velocidad del viento cuando se obtuvo un resultado satisfactorio en el presecado (Hart, 1968), esta velocidad fue

²⁵ Com. Pers., 2005

²⁶ Com. Pers., 2005

aumentada a 1,6 m/s en el secado y mantenida durante las etapas de igualado, acondicionado y enfriado. En el Cuadro 21 se muestran los valores promedio de los perfiles de velocidad de viento y su variación. La distribución del viento se consideró homogénea, dado el bajo coeficiente de variación.

Ubicación en Cámara	Frente	Medio	Fondo	General	Etapas
Número de mediciones	20	20	20	60	Presecado y Reacondicionado
Promedio (m/s)	0,8	0,7	0,7	0,7	
Desvío (m/s)	0,1	0,1	0,1	0,1	
CV (%)	14,5	12,0	14,4	13,6	
Número de mediciones	20	20	20	60	Secado, Igualado, Acondicionado y Enfriado
Promedio (m/s)	1,7	1,5	1,6	1,6	
Desvío (m/s)	0,4	0,3	0,2	0,3	
CV (%)	26,4	17,6	12,4	18,9	

Cuadro 21: Distribución del viento y su variación en las diferentes etapas del proceso.

1. Presecado

Se inició el proceso aumentando gradualmente la temperatura a 0,8°C por hora, y con una elevada humedad relativa ambiente. Álvarez *et al.* (1998) para *E. globulus* usaron 2 horas por centímetro de espesor para llegar a 35°C. En este trabajo no fue posible un calentamiento mas rápido debido a la limitada capacidad de calentamiento propia del equipo de secado. Las condiciones de alta humedad ambiente se mantuvieron durante la etapa 1 y fueron disminuyendo en forma gradual con el avance del proceso. Vermaas, (1995); Wengert, (2004); Kauman, (1964); Bluhn *et al.*, (1965); Campbell *et. al.*; (1978); Hartley *et al.*, (1990); (citados por Severo, 2000) recomiendan no exceder 45°C en las etapas iniciales del secado, debido a la ocurrencia de grietas superficiales. Cuando la madera alcanzó un contenido de humedad de 38,9% se realizó un vaporizado por 4 horas a 90°C de temperatura y 17% de Contenido de Humedad de Equilibrio. Si bien éste tratamiento es efectuado para prevenir el agrietado (Neumann *et al.*, 1992; Stöhr *et. al.*, 1984; citados por Vermaas, 1995; Simpson, 1975; Campbell *et. al.* 1978; Alexiou *et al.*,1990); en este caso fue posible disminuir el agrietamiento superficial de la madera que ya se había producido. El contenido de humedad al final del presecado fue 19,5%, con un máximo de 24,9% y mínimo de 14,1%, el Coeficiente de Variación fue de 15,1%.

	Días			
	0	14	28	35
Gradiente Mínimo	3,5	1,8	3,1	2,5
Gradiente Medio	9,7	7,4	6,6	5,4
Tasa de Disminución	-	2,3	0,8	1,2
Gradiente Máximo	19,5	15,7	12,3	12,7
Desvío	3,7	3,3	2,2	2,5
CV	38,0	44,8	33,2	46,2

Cuadro 22: Parámetros principales relevados durante el período de espera

2. Período de Espera

En el Cuadro 22 y en la Figuras 13 y 14 se presenta el resumen de los principales parámetros del período de espera. Como se puede ver el gradiente promedio de la madera disminuyó sucesivamente con la duración del período. Sin embargo, la tasa de disminución del gradiente no fue constante. Con estos resultados, Vermaas²⁷ (2005) recomendó interrumpir este período luego de transcurrida la tercer semana, debido al elevado gradiente existente en esa etapa²⁸. Como se observa en la Figura 13, el contenido de humedad de la madera permanece constante, el gradiente de humedad disminuye debido la disminución de la humedad del centro de la madera y el aumento en los bordes (ver además Figura 14), pero la dispersión de los valores también aumenta, indicando un comportamiento aún heterogéneo de la madera.

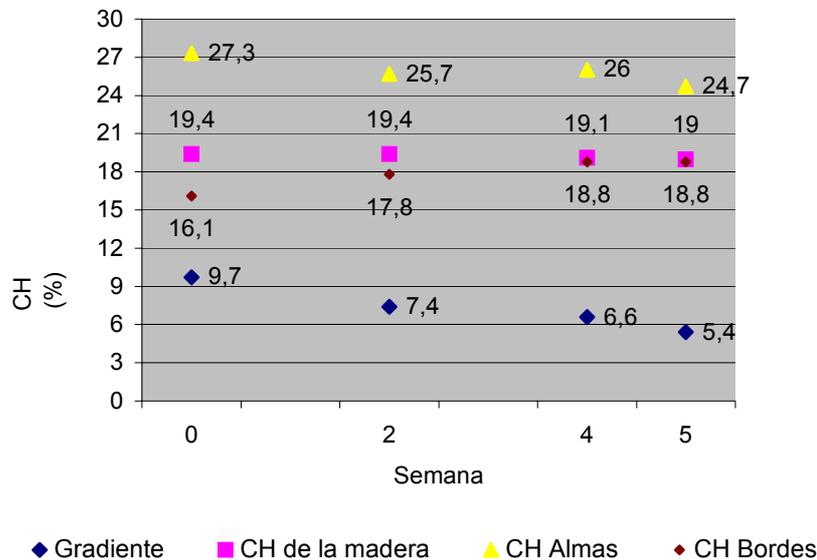


Figura 13: Gráfica de Variación del Gradiente, Contenido de Humedad de la madera en el centro, periferia y promedio durante el período de espera.

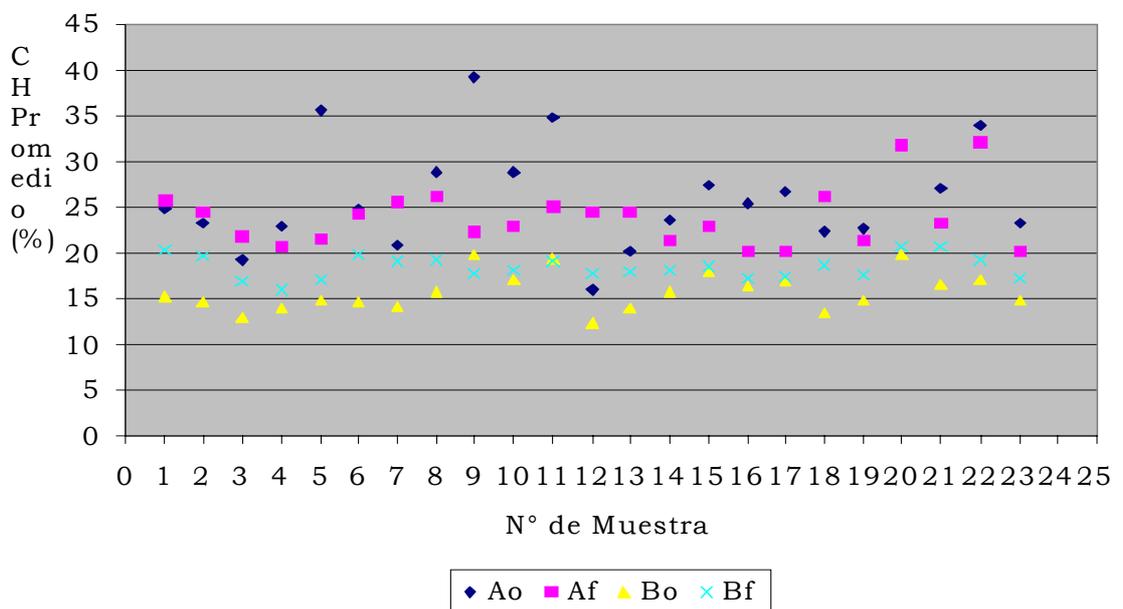
Considerando los resultados obtenidos, se puede concluir que con el período de espera no se alcanzó a cumplir el objetivo de disminuir el gradiente de humedad de la madera a los valores recomendados previo al reacondicionamiento. Sin embargo, en la segunda semana de período de espera ya prácticamente se había alcanzado el objetivo de lograr un contenido de humedad en el centro de las tablas de 25% como plantean Ellwood, (1959) (citado por Ellwood 1962) y Campbell, (1961) (citado por Vermaas, 1995). Con este último objetivo alcanzado, y considerando que el tiempo requerido para lograr el gradiente sugerido por Vermaas²⁹ (2005)

²⁷ Com. Per., 2005

²⁸ Este científico, recomienda alcanzar valores de gradiente en el entorno de 2 a 3% previo al reacondicionamiento.

²⁹ Com. Pers.(2005)

excedía los tiempos reportados por otros autores, es que se debería implementar un período de espera no mayor a tres semanas. La Kauri Timber Company en Tasmania, realiza un período de espera de 3 semanas para madera de 25mm de espesor (Vermaas, 1995). Campbell (1961) (citado por Vermaas, 1995) recomienda usar un período de espera de 10 días para madera de *E. oblicua* de 29 a 50 mm de espesor, a su vez el mismo autor, propone como recomendación general para el género *Eucalyptus*, un período de espera máximo de 4 semanas, de manera de alcanzar una reducción significativa en el gradiente. Ellwood (1959) (citado por Ellwood, 1962) trabajando con Roble Negro de California y *Lithocarpus densiflorus* (maderas impermeables) recomienda un período de espera de 3 semanas.



Ao: CH del centro el día 0. **Af:** CH del centro el día 35. **Bo:** CH del borde el día 0. **Bf:** CH el borde el día 35.

Figura 14: Gráfica de contenido de humedad promedio inicial y final de almas y bordes.

3. Secado

Para disminuir la incidencia de defectos como Colapso y Abarquillado, se inició el secado reacondicionando la madera. Luego de 9 horas de calentamiento, se mantuvo durante 8 horas la temperatura a 95°C con un contenido de humedad de equilibrio de 16,4% (Ver Cuadro 20 y Figura 12). Vermaas, (1995) plantea que en Australia para material de 25 a 50mm de espesor se mantiene la madera por 6 a 8 horas a 100°C y 100% de humedad relativa del aire. Por limitaciones del equipo no se pudo lograr en ningún momento los 100°C de temperatura en el presente estudio.

El contenido de humedad de la madera era 18,9%, a su vez el contenido de humedad promedio en el centro de las piezas era de 24,7%. Kollmann *et al.*, (1968), Simpson (1991), Walker *et al.*, (1993) (citados por Rozas, 1993) recomiendan 15% de humedad para el reacondicionamiento. Cech *et al.*,f (1977) (citados por Rozas, 1993) recomiendan iniciar el

proceso con la madera a 20% de humedad. Ellwood (1959) (citado por Ellwood, 1962) recomienda que la madera esté entre 15% y 18% de humedad.

El secado debió continuarse a 65°C de temperatura (ver Cuadro 18), sin embargo esto no ocurrió, porque la velocidad de calentamiento del equipo fue insuficiente, al tener las chimeneas abiertas para eliminar humedad, y a la carencia de un sistema de escurrimiento del agua acumulada en el piso. Por tal motivo, la primer etapa del proceso transcurrió a 45°C y el Contenido de Humedad de Equilibrio con el que se continuó el proceso fue 8,3% y no 7,2% como se planteó inicialmente. Una vez que se cerraron las ventilas, fue posible alcanzar temperaturas mayores. Christensen (1984) (citado por Severo, 2000) comenta que en el secado de este género por debajo del Punto de Saturación de las Fibras, pueden ser usadas temperaturas superiores a las usadas para el presecado. El mismo autor (1985) (citado por Severo, 2000) señala que se pueden usar temperaturas de hasta 110°C sin afectar significativamente la calidad.

Cuando la muestra mas seca alcanzó 8,4% de contenido de humedad, se inició el igualado, el cual se extendió por 24 horas, hasta que la muestra más húmeda alcanzó 11,9% de humedad. Sobre la base del éxito alcanzado con el vaporizado durante el presecado, para finalizar el secado se optó por hacer un acondicionado breve por 4 horas a 90°C y 16% de Contenido de Humedad de Equilibrio. Según Vermaas (1995), en Australia se logra eliminar el agrietado superficial con un acondicionado al final del secado. Con este acondicionado final, se logró cerrar grietas superficiales que se produjeron durante el reacondicionado y obtener madera sin tensiones de secado (ver Figuras 21 y 22). Luego de finalizado éste, se dejó enfriar la madera en forma gradual dentro de la cámara a razón de 5°C por hora, manteniendo ventilas abiertas, lo que provocó un descenso del CHE. Durante ésta última etapa se produjo nuevamente la apertura de grietas superficiales, aunque en menor magnitud que en el reacondicionado.

B. CALIDAD DE SECADO

1. Pre secado

a. Calidad de presecado

A continuación se presentan los Cuadros 23, 24 y 25 que ilustran los principales resultados referidos a la calidad del pre secado. Las tablas analizadas se componen por: cuarenta y cuatro tablas de corte tangencial, treinta y tres de corte radial y veinticinco de corte intermedio.

- Como se puede ver en el Cuadro 23, el proceso de pre secado provocó la aparición de abarquillado. Este defecto se presentó en el 54% de las tablas, su tendencia de ocurrencia es categorizada como grande. Del total de tablas abarquilladas (ver Cuadro 25), la mayoría de éstas son tablas de corte tangencial (54%), siendo solo el 22% radiales y el 24% restante de corte intermedio. Del análisis visual del abarquillado (ver Cuadro 24), surge que el 84% de éste es no significativo, un 11% se califica como medio y solo el 5% puede ser catalogado como fuerte. Por lo tanto, si bien la ocurrencia de abarquillado es grande, la mayoría de este defecto es no significativo. Vermaas (1995) plantea que este defecto puede ser reducido secando la pila con pesos;

Mantero³⁰ sugiere armar el castillo situando las tablas de corte radial en las camadas superiores; Tuset *et. al.* (1986) recomiendan 60 a 70cm de distancia entre separadores para madera de espesores de 25 a 50mm

Defecto	CH	% de ocurrencia	Tendencia
Abarquillado	V	0	Ausente
	P.S**	54	Grande
Torcedura	V	0	Ausente
	PS	15	Pequeña
Encorvadura	V	81	Grande
	PS	69	Grande
Combado	V	76	Grande
	PS	40	Moderada
Colapso	V	0	Ausente
	PS	50	Moderado
Grietas sup	V	6	Ausente
	PS	38	Moderada
Rajaduras	V	75	Grande
	PS	76	Grande

V*: madera verde. PS**: madera pre secada.

Cuadro 23: Clasificación de la tendencia de ocurrencia de defectos en madera verde y luego del presecado

Defectos de la madera	Categoría (V)*			Categoría (PS)**		
	No sign.	Medio	Fuerte	No sign.	Medio	Fuerte
Rajaduras en cabezas	18	26	56	14	32	54
Grietas superficiales	-	-	-	-	-	-
Combado	17	52	31	22	58	20
Encorvadura	27	38	35	21	43	36
Abarquillado	-	-	-	84	11	5
Torcedura	-	-	-	-	20	80
Colapso	-	-	-	-	-	-

V: madera verde **PS: madera pre secada

Cuadro 24: Análisis visual de defectos antes y después del presecado; % sobre el total de piezas con defecto

- También en el Cuadro 23 se observa que el 76% de las tablas verdes presentaba combado, luego del presecado, hubo una reducción a 40% de tablas con este defecto. La tendencia de ocurrencia de combado se considera como fuerte previo al presecado y moderada al final. Del total de tablas combadas antes de comenzar el pre secado (ver Cuadro 25), el 48% eran de corte tangencial, el 17% de corte radial y el 35% restante eran de corte intermedio. Al evaluar este mismo defecto al finalizar el pre secado (ver cuadro 25) se vio que el 49 % de las tablas con combado eran de corte tangencial, el 24% eran de corte radial y el 27% restante era de corte intermedio. Del análisis visual del combado surge, que del total de tablas que presentaron este defecto previo al secado, el 52% se puede calificar como medio, el 31% como fuerte y el 17 % restante como no significativo. Siguiendo con el mismo análisis para las tablas pre secadas, se

³⁰ Com. Pers. 2005)

puede ver que el 58% del combado puede ser categorizado como medio, el 22% como no significativo y el 20% restante como fuerte. El pre secado, además de reducir el porcentaje de tablas con combado, redujo la magnitud de éste defecto. El combado está asociado con la contracción longitudinal de la médula, la madera de tensión y el grano cruzado (Vermaas, 1995; Simpson, 1991).

Defectos de la madera	Tipo de corte (V*)			Tipo de corte (PS**)		
	tangencial	radial	Intermedio	tangencial	radial	intermedio
Rajaduras en cabezas	45	34	21	46	29	24
Grietas superficiales	33	17	50	51	28	21
Combado	48	17	35	49	24	27
Encorvadura	38	33	29	44	33	23
Abarquillado	-	-	-	54	22	24
Torcedura	-	1	-	60	27	13
Colapso	-	-	-	39	41	20

*V: madera verde **PS: madera pre secada

Cuadro 25: Análisis visual de defectos antes y después del pre secado según tipo de corte; % sobre el total de tablas con defecto

- También se midió la encorvadura (ver Cuadro 23), este defecto lo presentaron el 81% de las tablas verdes, luego de ser pre secadas, el 69% de las tablas mantuvo este defecto. Del total de tablas verdes que presentaron encorvadura (ver Cuadro 25), el 38% son de corte tangencial, el 33% de corte radial y el 29% restante de corte intermedio. Analizando las tablas pre secadas, se observa que el 44% de las tablas con encorvadura son tangenciales, el 33% son radiales y el 23% restante son intermedias. Respecto a la clasificación visual (ver cuadro 24), el 38% de las tablas verdes con encorvadura presentan este defecto como medio, el 35% de clasifican como fuerte y el 27% restante como no significativa. En las mismas tablas pre secadas, se presentó este defecto como medio en el 43% de las tablas, como fuerte en el 36% y como no significativo en el 21% de las tablas. En conclusión, no hubo cambios de importancia en porcentaje de ocurrencia y magnitud del defecto, con el pre secado. Según Vermaas, (1995) la encorvadura no es normalmente un problema serio en *Eucalyptus*, pero cuando esto ocurre, puede ser controlada por una buena práctica de apilamiento con pesos y vaporizando al completar el secado.
- La torcedura se presentó en el 1% de las tablas verdes y luego del presecado en el 15% de las tablas (ver Cuadro 23). La magnitud de este defecto puede considerarse como inexistente en el caso de las tablas verdes, y de pequeña en el caso de las tablas pre secadas. En el caso de estas últimas (ver Cuadro 25), del total de tablas con este defecto el 60% son tablas de corte tangencial, el 27% son tablas de corte radial y el 13% restante de corte intermedio. Del análisis visual (ver Cuadro 24) se puede categorizar este defecto como fuerte en el 80% de las tablas que lo presentaron luego del pre secado, y como medio en el 20% restante de las tablas con torcedura. En resumen, el pre secado provocó la aparición de este defecto, y si bien la ocurrencia de torcedura es pequeña al finalizar el presecado, la mayoría de las tablas con torcedura presentan este defecto como fuerte.
- Como recomendación general frente a los alabeos, Boas (1947) recomienda la colocación de separadores muy próximos entre sí. Los pesos para disminuir alabeos

deberán ser realmente importantes para reducirlo, sobre todo en las capas superiores del castillo

- Respecto al colapso, el 48% de las tablas sufrió este defecto luego del presecado, lo cual indica una tendencia de ocurrencia moderada. Del total de tablas colapsadas 39% eran tablas tangenciales, 41% radiales y el restante de corte intermedio. La magnitud del mismo fue categorizada como No Significativo (ver cuadro 24). La ocurrencia de este defecto puede deberse al uso de temperaturas superiores a las recomendadas para esta fase (Vermaas, 1995; Wengert, 2004. Kauman, 1964; Bluhn *et al.*, 1965; Campbell *et al.*, 1978; Hartley *et al.*, 1990; citados por Severo, 2000)
- Al iniciar el secado el 75% de las piezas presentaban rajaduras o grietas en los extremos. La magnitud del defecto era la siguiente: 18% no significativa, 26% medio y 56% fuerte. Esta tendencia (Grande) se mantuvo luego del presecado, en el cual los valores de magnitud fueron 14%, 32% y 54% respectivamente. Este defecto según Vermaas, (1995) es causado por la existencia de tensiones de crecimiento y no constituye un defecto de secado.
- El 6% del total de piezas presentaban grietas superficiales al inicio del presecado; luego de terminado el proceso, el 38% de las mismas presentaban este defecto. El 28% de éstas, eran piezas de corte radial, 51% tangencial y 21% de corte intermedio. En todas las tablas con nudos, estos presentaron agrietado (ver Figura 15). Si bien el agrietado superficial se agravó con el pre secado, éste pudo ser de mayor magnitud de no haberse realizado un vaporizado en el transcurso del proceso. El resultado de este tratamiento será analizado con detalle en la siguiente sección del trabajo. No obstante, para reducir este defecto, Vermaas (1995) plantea la necesidad de disminuir la tasa de secado. A su vez, el mismo autor señala que las tablas de corte tangencial son las más propensas a sufrir agrietado superficial. Simpson (1991) plantea que el agrietado de los nudos ocurre en los estados iniciales del secado debido al bajo contenido de humedad. El mismo autor señala que este defecto solo puede ser controlado por el uso de humedades relativas alta, a su vez marca que este defecto es en la mayoría de los casos imposible de prevenir.

b. Efecto del vaporizado.

El efecto que el vaporizado tuvo en el agrietamiento superficial se muestra a continuación en las Figuras 16 y 17.

Como se puede ver en la secuencia de fotos (figuras 16 y 17), la mayoría de las grietas superficiales fueron cerradas después de la aplicación del vaporizado. Esto hizo que la tendencia de ocurrencia de este defecto fuera moderada y no grande como se proyectaba antes de aplicar esta técnica³¹.

³¹ Esta aseveración tiene como fundamento, la observación visual hecha en las muestras de humedad, previo al vaporizado. En éstas la ocurrencia de agrietado, era grande.



Figura 15: Foto de agrietamiento de nudos

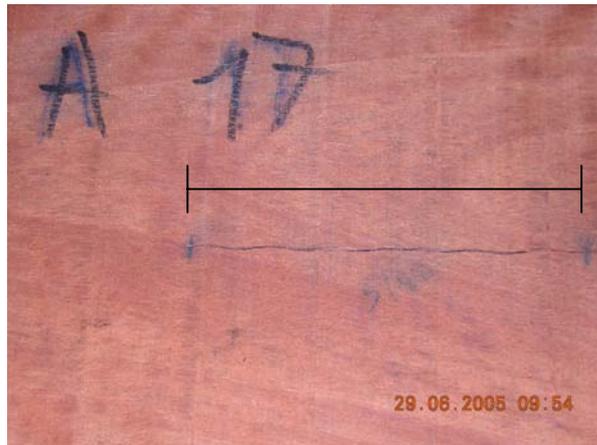


Figura 16: Foto de agrietado superficial previo al vaporizado

2. Secado

a. Reacondicionamiento.

A continuación se ilustra mediante fotos (Figura 18), el efecto del reacondicionamiento respecto a la recuperación del colapso.

Considerando el efecto del reacondicionamiento en el agrietado superficial, dicho tratamiento provocó que se reabrieran las grietas ya cerradas por el vaporizado aplicado

durante el pre secado Incluso, el agrietado superficial pos reacondicionado presentó grietas de mayor longitud que el mismo fenómeno ocurrido en la fase de pre secado. Este defecto, se ilustra en las figuras 19 y 20, que muestran como tablas que no tenían agrietado superficial antes del reacondicionamiento, mostraron este defecto después de este tratamiento, y a su vez, como la longitud de las grietas fue mayor a la que se dió durante las fase inicial del secado (ver Figura 20). Vermaas (1995) señala que el reacondicionamiento para eliminar colapso es usualmente lo que causa que se reabran las grietas superficiales durante el secado final. Ellwood (1959) (citado por Ellwood, 1962) plantea, que previo al reacondicionamiento de la madera se deben tomar precauciones, ya que si hay grietas superficiales el reacondicionado además de no removerlas, puede incluso hacerlas considerablemente más aparentes.



Figura 17: Foto de grietas superficiales cerradas después del vaporizado

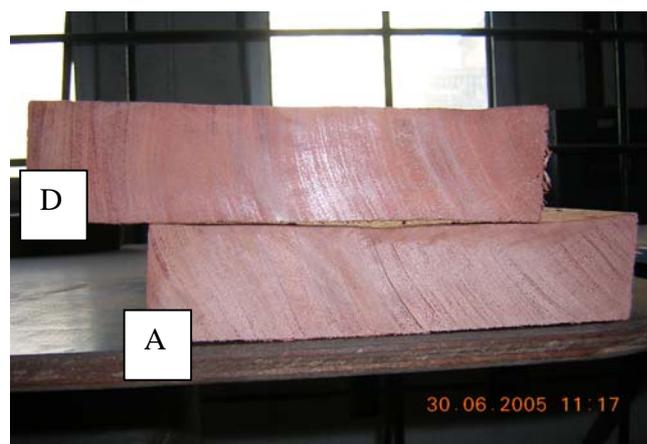


Figura 18: Foto Corte transversal de una tabla antes del reacondicionado (A) y después del mismo (D).

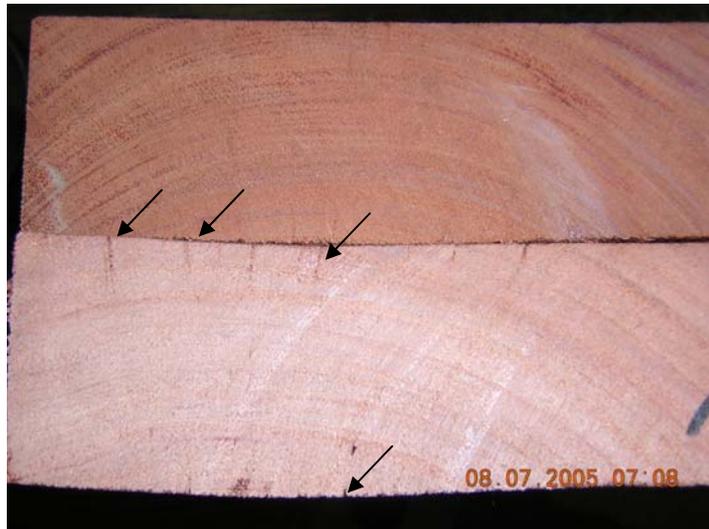


Figura 19: Foto de tabla con agrietado superficial antes y después del reacondicionamiento. Las flechas indican las grietas producidas en esta fase

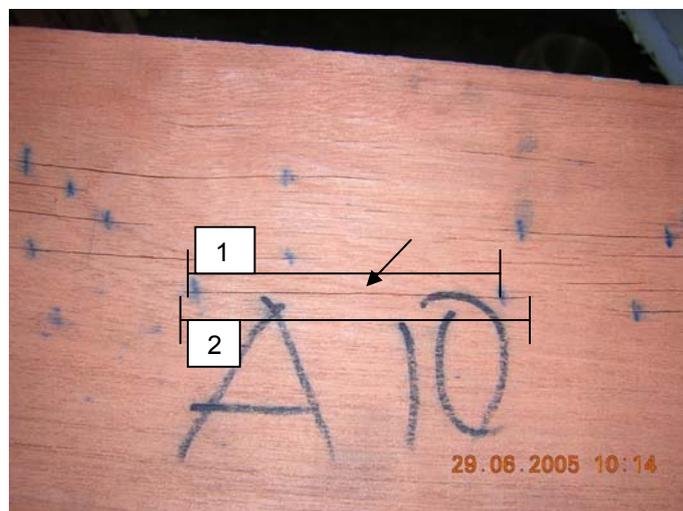


Figura 20: Foto de Superficie de tabla con agrietado superficial pos reacondicionamiento. 1: longitud de grieta abierta en pre secado. 2: longitud de grieta abierta pos reacondicionado

Respecto a la incidencia del reacondicionamiento en otros defectos de secado, en la próxima sección se detallan con cuadros y comentarios todo lo relacionado al tema.

b. Calidad de secado

A continuación se presentan los cuadros 26, 27 y 28 que ilustran los principales resultados de la evaluación de calidad del secado.

Defecto	CH	% de ocurrencia	Tendencia
Abarquillado	PR**	31	Moderada
	F.S*	57	Grande
Torcedura	PR	2	Ausente
	F.S	44	Moderada
Encorvadura	PR	70	Grande
	FS	79	Grande
Combado	PR	25	Pequeña
	FS	52	Grande
Colapso	PR	33	Moderado
	FS	38	Moderado
Grietas sup	PR	89	Grande
	FS	91	Grande
Rajaduras	PR	80	Grande
	FS	86	Grande

* FS: final secado **PR: pos reacondicionado

Cuadro 26: Clasificación de tendencia de ocurrencia de defectos en distintas etapas del proceso de secado

Defectos de la madera	Categoría (PR)**			Categoría (FS)*		
	No sign.	Medio	Fuerte	No sign.	Medio	Fuerte
Rajaduras en cabezas	9	25	66	15	26	58
Combado	40	52	8	21	64	15
Encorvadura	32	58	10	20	60	20
Abarquillado	100	0	0	98	2	0
Torcedura	0	0	100	0	18	82
Colapso	-	-	-	49	32	19

* FS: final secado **PR: pos reacondicionado

Cuadro 27: Análisis visual de defectos antes y después del secado según categoría de defectos

- Como se puede ver en el Cuadro 26, luego del reacondicionamiento, el 31% de las tablas presentó abarquillado. Este mismo defecto lo presentaron el 57% de las tablas al final del secado. La tendencia de ocurrencia de este defecto es categorizada como moderada luego del reacondicionamiento, y como grande luego de terminado el secado. Esto último, vinculado a los datos presentados anteriormente, muestra que, a pesar de que el reacondicionamiento reduce la magnitud de este defecto, el secado posterior vuelve a aumentar la magnitud del abarquillado. Del total de tablas

abarquilladas al terminar el reacondicionamiento (ver Cuadro 28), el 47% son tablas de corte tangencial, el 31% son radiales y el 22% restante son tablas de corte intermedio. Al finalizar el secado, el 47% de las tablas abarquilladas eran de corte tangencial, el 24% de corte radial y el 29% restante de corte intermedio. Del análisis visual del abarquillado (ver Cuadro 27), surge que el 100% de éste es no significativo al terminar el reacondicionamiento. Al terminar el secado el 98% de este defecto se define como no significativo y el 2% restante como medio. En síntesis, pese a la tendencia de ocurrencia importante de abarquillado, se puede afirmar que la mayoría del abarquillado es de magnitud poco importante al terminar el secado. Vermaas (1995) comenta, que este defecto se reduce empleando un sistema que mantenga el material derecho durante el reacondicionamiento o mediante un vaporizado final para completar el secado.

Defectos de la madera	Tipo de corte (PR) ¹			Tipo de corte (FS) ²		
	Tg	rd	Int	tg	rd	Int
Rajaduras en cabezas	49	31	20	40	31	24
Grietas superficiales	46	32	23	46	29	25
Combado	40	48	12	47	34	19
Encorvadura	48	28	24	44	30	26
Abarquillado	47	31	22	47	24	29
Torcedura	50	0	50	42	31	27
Colapso	39	41	20	49	31	21

¹PR: madera pos reacondicionada. ²FS: madera al final del secado

Cuadro 28 : Análisis visual de defectos después del reacondicionamiento y al final del secado según tipo de corte de las tablas

- Respecto al combado, el 25% de las tablas presentó este defecto luego del reacondicionamiento (ver Cuadro 26), sin embargo, al terminar el secado, el porcentaje de tablas con este defecto se duplicó. La tendencia de ocurrencia de este defecto se considera como moderada luego del reacondicionamiento y como grande al final del secado. Del total de tablas combadas luego del reacondicionamiento (ver Cuadro 28), el 40% eran de corte tangencial, el 48% de corte radial y el 12% restante eran de corte intermedio. Al evaluar este mismo defecto al finalizar el secado (ver Cuadro 28) se vio que el 47 % de las tablas con combado eran de corte tangencial, el 34% eran de corte radial y el 19% restante era de corte intermedio. Del análisis visual del combado surge que del total de tablas que presentaron este defecto luego del reacondicionamiento, el 52% se puede calificar como medio, el 8% como fuerte y el 40% restante como no significativo. Siguiendo con el mismo análisis para las tablas secas, se puede ver que el 64% del combado puede ser categorizado como medio, el 21% como no significativo y el 15% restante como fuerte.
- Midiendo encorvadura (ver Cuadro 26), se determinó que este defecto lo presentaron el 70% de las tablas después del reacondicionamiento, luego de terminar el secado, el 79% de las tablas presentó este defecto. Del total de tablas reacondicionadas que presentaron encorvadura (ver Cuadro 28), el 48% son de corte tangencial, el 28% de corte radial y el 24% restante de corte intermedio. Analizando las tablas al final del secado, se observa que el 44% de las tablas con encorvadura son tangenciales, el 30%

son radiales y el 26% restante son intermedias. Respecto a la clasificación visual (ver Cuadro 27), después del reacondicionamiento, el 58% de las tablas con encorvadura presentan este defecto como medio, el 10% de clasifican como fuerte y el 32% restante como no significativa. En las mismas tablas secas, se presentó este defecto como medio en el 60% de las tablas, como fuerte en el 20% y como no significativo en el 20% de las tablas.

- La torcedura se presentó en el 2% de las tablas reacondionadas y luego del secado en el 44% de las tablas (ver Cuadro 26). La magnitud de este defecto puede considerarse como no significativa en el caso de las tablas reacondionadas, y de moderada en el caso de las tablas secas. En el caso de las tablas reacondionadas (ver cuadro 28), del total de tablas con este defecto el 50% son tablas de corte tangencial y el 50% restante de corte intermedio. Para las tablas secas, el 42% son tablas de corte tangencial, 31% son de corte radial y 27% restante de corte intermedio. Del análisis visual (ver Cuadro 27) se puede categorizar este defecto como fuerte en el 100% de las tablas que lo presentaron luego del reacondicionado. Al terminar el secado, el 18% se puede categorizar como medio y el 82% restante como fuerte. En conclusión, si bien el reacondicionamiento redujo el porcentaje de tablas con torcedura, el secado incrementó el porcentaje de tablas con este defecto e incluso lo hizo por encima del porcentaje de tablas con torcedura al finalizar el pre secado.
- Después del reacondicionamiento de la madera, ésta presenta una ocurrencia de colapso en el 33% de las tablas, calificándose tal ocurrencia de moderada. Este defecto se presentó al final del secado en el 38% de las tablas. Estos porcentajes de ocurrencia indican que existe una tendencia de ocurrencia moderada de colapso después del reacondicionamiento y al final del secado. Del total de tablas que presentaban colapso después de ser reacondionadas, el 39% eran de corte tangencial, el 41% de corte radial y el 20% restante de corte intermedio. Respecto a las tablas colapsadas al terminar el secado, 38% eran tablas tangenciales, 44% radiales y el restante 18% de corte intermedio. La magnitud del mismo fue no significativa en el 49% de las tablas, mientras que el 32% presentó colapso medio y solamente en el 19% de las mismas el colapso fue intenso. En conclusión, la ocurrencia de colapso no cambió con el secado posterior al reacondicionamiento y la minoría de este defecto se puede catalogar como fuerte. Esto último se condice con lo experimentado por Ellwood (1962) con el secado del roble de California, ya que en sus experimentos el colapso tampoco se agravó con el secado posterior al reacondicionamiento. Según Vermaas (1995), el colapso es una de las características más comunes en las especies del género *Eucalyptus*. Boas (1947) plantea, que el *E. camaldulensis* es más propenso al colapso que el *E. tereticornis* (ambos eucaliptos colorados).
- Después del reacondicionamiento, el 80% de las tablas presentaban rajaduras en los extremos, presentando por ende una tendencia grande al rajado. Del total de tablas con rajadura, el 9% presentaban este defecto como no significativa, el 25% como medio y el 66% restante como intenso. El 49% de las tablas con rajadura eran de corte tangencial, el 31% de corte radial y el 20% de corte intermedio. Al terminar el secado, el 86% de las piezas presentaban rajaduras o grietas en los extremos. La magnitud del defecto era la siguiente 15% no significativa, 26% medio y 59% fuerte. La tendencia a presentar este defecto es grande, el 45% de las tablas con rajaduras eran de corte tangencial, 31% de corte radial y el restante 24% de corte intermedio.
- Como se ha mencionado anteriormente, el agrietado superficial después del reacondicionamiento se agravó en forma aguda respecto a la situación previa a éste tratamiento. Al terminar el reacondicionamiento, este defecto lo presentó el 89% de las tablas. El 46% de las mismas eran de corte tangencial, el 32% de corte radial y el 23% de corte intermedio. Al terminar el secado, el 91% del total de piezas presentaban

grietas superficiales. El 46% de las tablas con agrietado superficial eran de corte tangencial, el 29 % de corte radial y el 25% restante de corte intermedio.

A continuación se presentan dos cuadros (29 y 30) que comparan estos resultados de calidad con otras experiencias nacionales e internacionales.

Autores	Martins., et al (1999)			Datos propios (2005)		
Espesor	25 mm			38 mm		
	No significativo	Medio	Fuerte	No significativo	Medio	Fuerte
Rajadura	67	4	29	15	26	58
Abarquillado	100	-	-	98	2	-
Encostramiento	-	29	71	100	-	-

Cuadro 29: Comparación de resultados en calidad de secado obtenidos para *E. camaldulensis*

Como se observa en el Cuadro 29, los resultados de porcentaje de rajado obtenidos por Martins *et al.* (1999) son mas adecuados que los obtenidos en este trabajo, pero en abarquillado ambos trabajos presentan resultados muy similares. No obstante en este trabajo no se presentó encostramiento a diferencia de los datos obtenidos por Martins *et al.*, (1999). Cabe señalar, que las experiencias de Martins *et al.*,(1999) fueron realizadas en base a pruebas preliminares ejecutadas en estufa seca de laboratorio con ventilación forzada y madera de 50cm de largo, no pudiéndose implementar el programa propuesto en horno piloto como es el caso de este trabajo, además la madera que usó este autor fue despuntada previamente.

	LATU		Este trabajo	
	E. camaldulensis		E. camaldulensis	
Defecto	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia
Abarquillado	51	49	57	43
Combado	64	36	52	48
Encorvadura	91	9	79	21

Cuadro 30: Comparación de resultados en calidad de secado obtenidos en Uruguay *E. camaldulensis*

Como se puede ver en el Cuadro 30, los resultados obtenidos en ambos estudios son muy similares en calidad.

c. Contracción.

Otra característica de calidad que se midió es la contracción en espesor y en ancho de la madera luego del secado. A continuación se presenta el cuadro que resume los valores de contracción libre de colapso en ancho y espesor.

Como se puede observar en el Cuadro 31, la contracción en espesor fue de 3.8% y en ancho de 5.8%. Vermaas, (1995) plantea que la contracción varía marcadamente entre

Eucalyptus y es un fenómeno que, en gran medida, es independiente de las condiciones de secado

	Contracción	
	Espesor	Ancho
Promedio	3,8	5,8
CV (%)	20,6	18,8
MAX	5,6	8,0
Min	2,5	3,6

Cuadro 31: Contracción en ancho y espesor

A continuación se presenta un cuadro resumen (32) de información nacional referida al tema (Tuset *et al.*, 1987).

	<i>E. tereticornis</i>	<i>E. camaldulensis</i>
Contracción Volúmenométrica (%)	18.4	15.3
Contenido de humedad final (%)	12	12

Fuente: Tuset *et al.*, (1987)

Cuadro 32: Resultados obtenidos en ensayos de propiedades físicas sobre muestras procedentes de nuestro país

d. Tensiones

A continuación se ilustra mediante fotos en las figuras 21 y 22, como el acondicionamiento final de la carga de secado eliminó la totalidad de las tensiones de secado.

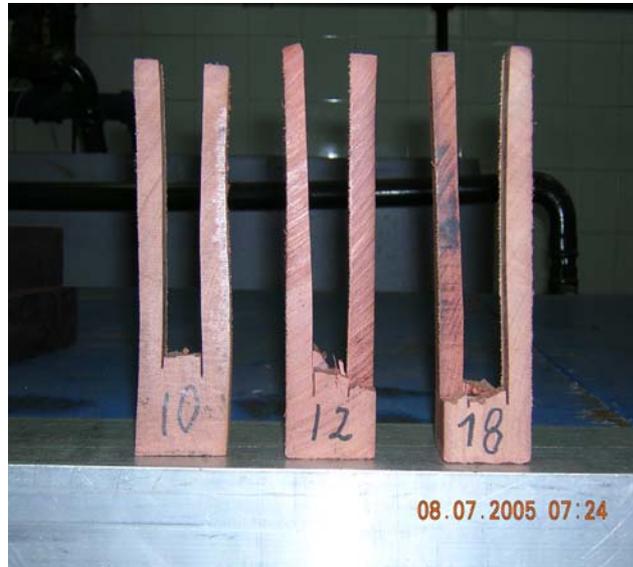


Figura 21: Foto de probetas de tensión una hora después de terminado el acondicionado

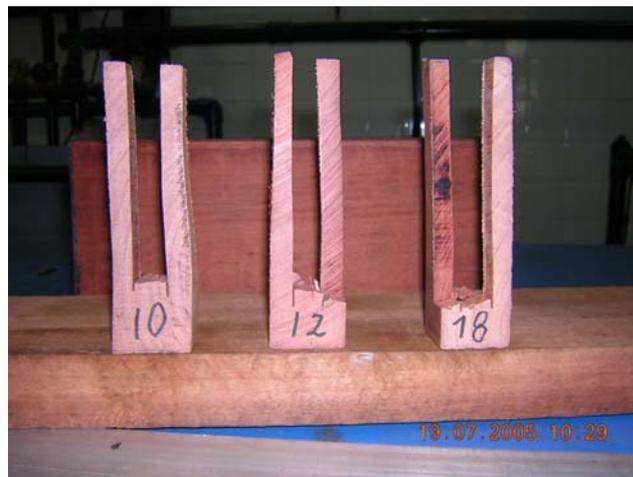


Figura 22: Foto de probetas de tensión 24 horas después de terminar el acondicionado

e. Color

Si bien en ningún momento de este trabajo se plantearon inquietudes respecto al color de la madera, se observó un efecto de homogenización del color y oscurecimiento, cuya causa probable sea los tratamientos con vapor (Espinosa 2004).

f. Cepillado

A continuación en la Figura 23 se presenta el efecto del cepillado en la reducción de algunos defectos producidos en el secado.

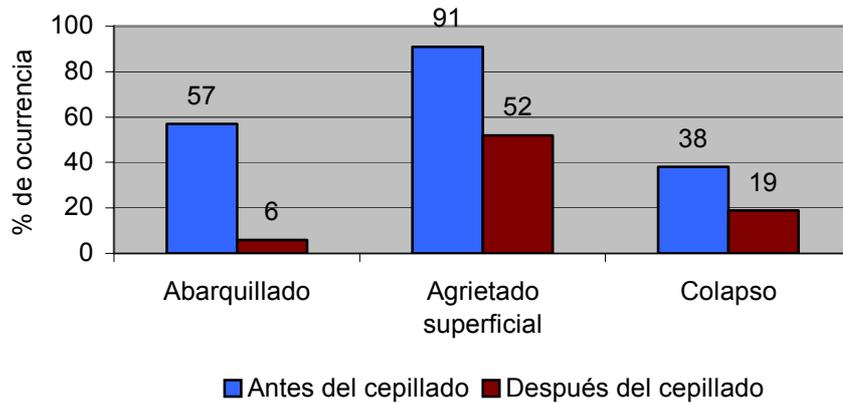


Figura 23: Gráfica de efecto del cepillado en la ocurrencia de abarquillado, agrietado superficial y colapso.

Como se puede visualizar, el cepillado redujo la ocurrencia de todos los defectos. En el caso del abarquillado, este defecto pasó de tener una ocurrencia de 57% a tener 6%. En el caso del agrietado superficial, se pasó de 91% a 52% y en el colapso se pasó de tener 38% a tener 19% de ocurrencia. Es importante mencionar, que de haber continuado con el cepillado los defectos podrían haberse eliminado. Según Bekele, (1995) los valores de deformación pueden ser en su mayoría reducidos a un nivel aceptable mediante cepillado.

A continuación se ilustra el resultado de la gráfica anterior, en 4 tablas que presentaban diferentes tipos de defectos.

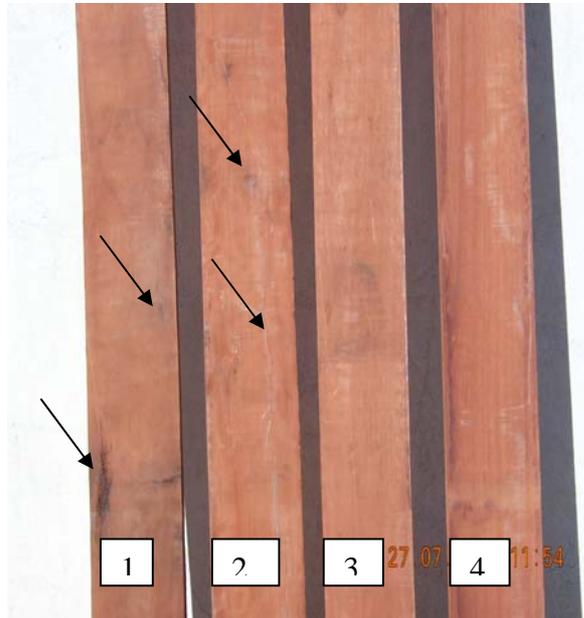


Figura 24: Foto de tablas con diferentes calidades antes del cepillado. 1: tabla con agrietado superficial medio y bolsa de quino; 2: Tabla con nudos y agrietado superficial leve; 3: tabla con colapso, abarquillado y agrietado superficial severo; 4: tabla sin defectos

Como se puede ver en la Figura 24, la tabla 1 mantiene el agrietado superficial después del cepillado, solo que éste es de una magnitud menor (observación visual) al que se visualizaba antes del cepillado. A su vez se puede ver en la foto, el daño ocasionado por el ataque de *Platypus sulcatus*.

Como se puede ver en la Figura 25, la tabla 2, a pesar de no tener más agrietado superficial, aún mantiene los nudos como defecto visual. La tabla 3, si bien mantiene el colapso, abarquillado y agrietado superficial, éstos son de menor magnitud después del cepillado. En el caso de la tabla 4, ésta adquiere una mejor apariencia después de este procedimiento.

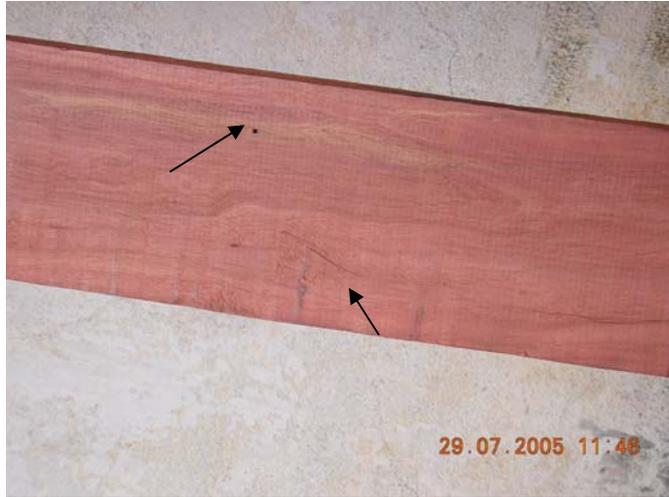


Figura 25: Foto tabla 1 después del cepillado.

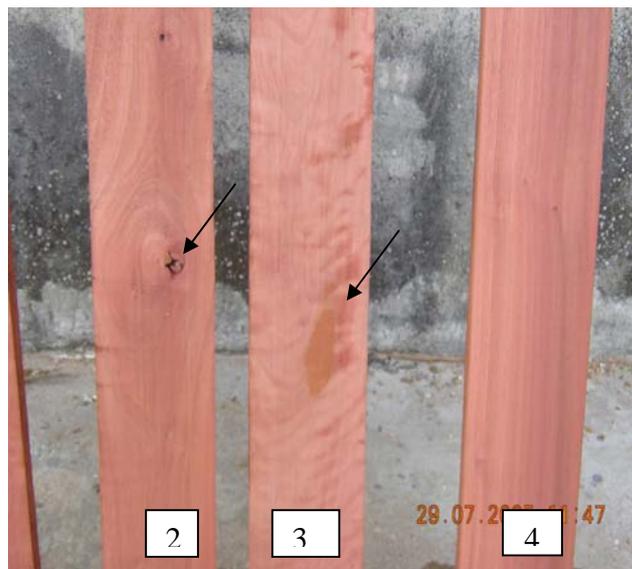


Figura 26: Foto de tablas 2, 3 y 4 después del cepillado.

V. CONCLUSIONES

Basándose en los resultados y la discusión, es posible concluir:

- La madera de *Eucalyptus camaldulensis* resultó ser de secado muy lento, con ocurrencia de colapso, agrietamiento superficial y alabeos.
- El programa utilizado en este trabajo reduce los tiempos de permanencia en horno respecto a experiencias nacionales e internacionales con una satisfactoria calidad de la madera. Por lo tanto puede ser sugerido para el secado convencional de esta especie.
- Los tratamientos con vapor resultaron efectivos, para la recuperación del agrietado superficial y para la eliminación de tensiones de secado. Estos deben ser efectuados en función de la aparición de los citados defectos.
- El período de espera disminuyó el gradiente de humedad pero aumentó la heterogeneidad en el lote. El tiempo empleado en este período fue demasiado extenso para los resultados obtenidos.
- El resultado del uso de tensores, y el número de separadores por camada, no fue satisfactorio en materia de reducción de combado, torcedura y abarquillado.
- El reacondicionamiento fue efectivo en reducir el colapso y el abarquillado, pero acentuó el agrietamiento superficial.
- La presencia de nudos, perjudicó la calidad final de las piezas.
- El cepillado corrigió defectos como el abarquillado, colapso y agrietamiento superficial, además de mejorar la apariencia visual de las tablas.

Además de las conclusiones, es posible realizar algunas sugerencias para investigaciones futuras:

- Es factible mejorar el programa realizado, aumentando la velocidad de aire en el pre secado y disminuyendo la misma en la fase de secado; bajando el tiempo de calentamiento de la cámara; disminuyendo la DBH en la fase de presecado, con un mayor manejo del vapor y aumentando la TBS en la fase de secado.
- Evaluar el efecto de pre vaporizar la madera.
- Estudiar el secado combinado (pre secado al aire y secado en horno).
- Realizar estudios para otros espesores.
- Utilizar pesos y mayor cantidad de separadores por camada.
- En futuros estudios considerar variables económicas.
- Reconsiderar la aplicación de un período de espera.

VI RESUMEN

En Uruguay, el secado es una etapa limitante, debido a la escasa capacidad de secado, escasez de personal calificado para dicha tarea y poca cultura en el uso de madera seca. Debido a la existencia de materia prima, al buen desarrollo del *Eucalyptus camaldulensis* en nuestro país, sus atractivas propiedades y características, a la existente demanda potencial de mercados para productos con alto valor agregado; es que se desarrolla un programa de secado convencional para madera de esta especie de 39mm de espesor, con énfasis en reducir la duración del ciclo de secado, y lograr una buena calidad de la madera en las diferentes etapas del proceso. Sobre la base de programas propuestos por diferentes autores e instituciones se confeccionó el programa de secado. En éste, se procuró crear condiciones más exigentes de temperatura e intermedias en Contenido de Humedad de Equilibrio respecto a los programas estudiados. Previendo que el presecado rápido de la madera produjera un elevado gradiente de humedad, se consideró conveniente realizar un período de espera una vez que la madera alcance 20% de Contenido de Humedad. Como resultado, se logró un programa que reduce los tiempos de permanencia en horno respecto a experiencias nacionales e internacionales y que puede ser sugerido para el secado convencional de esta especie. En 709 horas se secó esta madera desde 63,9% de humedad hasta 10,2% de humedad final. Esta madera resultó ser de secado muy lento, con ocurrencia de baja magnitud de colapso, agrietamiento superficial y alabeos. La calidad de la madera se considera satisfactoria. El período de espera disminuyó el gradiente de humedad pero insumió un tiempo demasiado extenso. Se sugiere, continuar las investigaciones para mejorar el programa obtenido.

Palabras claves: *Eucalyptus camaldulensis*, secado convencional, programas de secado, calidad de madera.

VIII BIBLIOGRAFÍA

1. ALEXIOU, P.N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY, J. 1990. Effect of presteaming on drying rate. Wood anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. Wood Science and Technology, New York, v.24 (1), p103-110. Tomado de: CAB Abstracts 1990.
2. ALEXIOU, P. N.; MARCHANT, J. F.; GROVES, K. W; Effect of *pre-steaming* on moisture gradients, drying stresses and sets, and face checking in regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. Wood Science and Technology . 24 (2), 1990 p.201-209). Tomado de: CAB Abstracts 1990.
3. ALVAREZ, H ; NOVESY, J.I ;SECO, G. 1998. Secado de madera aserrada de *Eucalyptus globulus* al vacío continuo con vapor sobrecalentado. Comparación con el secado tradicional en cámara. AITIM, N ° 181:69 – 72.
4. ÁLVAREZ, H ; FERNANDEZ, J.I ; SECO, G.1999. Programas de secado mas adecuados para las maderas mas usadas en España. AITIM, N° 197:83-85.
5. ANDRADE, A.2000.Indicacao de programas para a secagem convencional de madeiras. Tesis de maestría en Ciencias. Sao Paulo, Brasil. Universidad de Sao Paulo.70p.
6. BACHRICH. J.L.1980. Dry Kiln Handbook. Canadá. H.A. SIMONS (INTERNATIONAL) LTD. 374p.
7. BARISKA, M ; KNUFFEL, W.E ; VAN RENSBURG, Z.1987. Literature survey on selected properties of *Eucalyptus*. Part II. Collapse, Shrinkage and Drying characteristics. CSIR Subject Survey O/ Hout 64, Pretoria, South Africa. Project n°. TP/44345.
8. BASO, C.2004. Potencialidad del *Eucalyptus globulus* como madera sólida. AITIM N ° 228: 69 -72
9. BEKELE, T. 1994.*Kiln* drying of sawn boards of young *Eucalyptus globulus* Labill. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. grown on the Ethiopian Highlands. Holz als Roh- und Werkstoff, Volúmen 52 (6), p.377-382. Tomado de CAB Abstracts.
- 10.BEKELE, T.1995.Degradation of boards of *Eucalyptus globulus* Labill. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. during air drying. Holz als Roh- und Werkstoff; Volúmen 53, (6), p.407- 412. Tomado de CAB Abstracts.
- 11.BLUHM, E., KAUMAN, W. G. 1965. El colapso en la madera y su reacondicionamiento. Informe Técnico, Instituto Forestal, Santiago, Chile, n.22.
- 12.BOAS, I.H.1947.The commercial timbers of Australia. Their properties and uses. Australia. J.J. Gourley Printer, Melbourne. 344p.
- 13.BOOTLE, K.R. 1973. Introductory studies of the behaviour of regrowth blackbutt on conversion. 16th For. Prod. Res. Conf. Aust. Topic 2/2.
- 14.BOONE, S.R ; KOZLIK, J.C ; BOSIS, J.P; WENGERT. M.E.1988. Dry Kiln Schedules for commercial woods. Temperate and tropical. USDA. FPL. General Technical Report FPL-GTR-57. USA.
- 15.BRENNAN, L.J ; FRICKE, K.W; KAUMAN, W.G; Wright, G.W. 1966. Pre drying in Australia. The Australian Timber J., Congress Issue, December: 360 – 369.
- 16.(____.). 1966. Pre drying in Australia. The Australian Timber J., 32 (11): 360 – 364, 366. (Division of For. Prod. Reprint n°. 686).
17. CAMPBELL, G. S. 1961. The value of presteaming for drying some collapse-suceptible *Eucalypts*. For. Prod. J. , v.11, n.8, p.334-337.
18. (____.). 1975. The seasoning of regrowth *Eucalypts*. Australian For. Ind. J., December: 31 – 33.
19. CAMPBELL, G.S.; HARTLEY, J. 1978. Drying and dried wood. In: Hillis, W.E. and Brown, A.G. *Eucalypts for Wood Production: Australia: CSIRO*, cap. 16.

20. CECH, M. Y.; PFAFF, F. 1975. Kiln drying of 1 in. Red Oak. For. Prod. J. 25 (8): 30 –37.
21. (_____.). 1977. Kiln operators manual of Eastern Canada. Ontario: Eastern For. Prod. Lab., 189 p.
22. CHAFE, S. C. 1990. Effect of brief presteaming on shrinkage, collapse and other wood-water relationships in *Eucalyptus regnans* F. Muell. Wood Sci. Technol., New York, v.24, p.311-326.
23. CHRISTENSEN, F.J. 1984 Recent research on the high temperature drying of sawn *Eucalyptus delegatensis* below fiber saturation point. In: For. Prod. Res. Conf., 21., 1984, Clayton, Proc .. Clayton.
24. (_____.). 1985. High temperature drying of hardwoods increases kiln throughput. For. Products Newsletters, n. 2, Out. New Series.
25. CIS-MADERA. 2001, Sistemas de aserrado adecuados para *Eucalyptus globulus* Europeos afectados por tensiones de crecimiento. Galicia, 21p (Proyecto de CIS- Madera. FAIR CT 98-9579)
26. COOPER, G.A. 199??. The benefits of pre freezing hardwoods. For. Sci.Lab.. North Central For. Exp. Stn., USDA. Forest Service, Urbana, Illinois.
27. CUPPETT, D ; P. CRAFT. 1972. Kiln drying presurfaced 4/4 Appalachian oak. For. Prod. J. 22(6):36-41.
28. DENIG, J. 1994. Kiln schedule development, use, and modification. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. Profitable solutions for quality drying of softwoods and hardwoods. Charlotte,. p. 71-75.
29. DENIG, J ; WENGERT, M ; SIMPSON, T. 2000. Drying Hardwood lumber. Ch 8. Advanced Kiln Drying procedures. Modifications to General Hardwood Schedules. USDA- FPL. General Technical Report 118. p. 93 – 102.
30. ELLWOOD, E L. 1959. Kiln drying green 4/4 –California black oak. Calif. Forestry & Forest Prod. . Note N°17.
31. ELLWOOD, E. L.; ECKLUND, B. A. 1961. Treatments to improve wood permeability as an approach to the drying problems. Proc. Western Dry Kiln Clubs, 13., 1961, Medford, Oreg. Annual Meeting ... Medford.
32. ELLWOOD, E L ; ERICKSON, R.W. 1962. Effect of presteaming on seasoning stain and drying rate of redwood. Forest Prod. J. 12 (7):328-332
33. ELLWOOD E.L 1962. Reconditioning – A practical Method of removing collapse and warp from California Hardwoods. Calif. Forestry & Forest Prod. Berkeley California . Note N°30.
34. ESPINOSA, C. 2004. Cambio de Color en Madera de Renovales de Rauli (*Nothofagus alpina* (Poepp. et. Endl.) Krasser) y Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst) Mediante Procesos de Vaporizado. Tesis de Grado. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 69p.
35. FELL, J.; HILL J. 1980. Sampling Levels for Hardwood Kiln-Drying Control. Forest Products Journal. Volúmen 30 (3) p. 32-36.
36. FUNG, P.Y. 1976. High temperature drying of Australian hardwoods. Aust. For. Ind. J. 42 (3), 46,50.
37. GABY, L.I. 1963. Surface checking of white oak as related to mechanical processing. Forest Prod. J. (In press).
38. HARRIS, R. A ; SCHROEDER, J.G ; DAIS, S.C. 1989. Steaming of red oak prior to Kiln – Drying: effects on moisture movement. Forest Products Journal. Volúmen 39 (11/12). 70 –72p
39. Hart C. 1968. El Secado de la Madera. Facultad de Agronomía 15paginas.
40. HARTLEY, J.; GOUGH, D.K. 1990. Future sawnwood drying in Australia. FDC, v. 181, n. 94, p.179-190,.
41. HILDEBRAND, R. 1970. **Kiln drying of saw timber**. Germany, R.H.: Maschinenbau GmbH, 202p.

42. HILLIS, W.E.1984. Wood quality and utilisation. In: "Eucalypts for Wood Production". Ed. W.E. Hillis and A.G. Brown. pp 259-289. CSIRO, Academic Press.
43. ILIC, J. 1993. The effect of pre-freezing on collapse, internal check development and drying rate in *Eucalyptus regnans* F. Muell. 24th For. Prod. Res. Conf., C.S.I.R.O., 15-18 November, Volúmen I: 3/10.
44. INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS 1985. Maderas Aserradas y Cepilladas. Definiciones de los defectos. Norma 753. 3 paginas.
45. JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A.; ANDRADE, A. 1998. Avaliação da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Ciências Florestais,. 16p. (Relatório Técnico - no publicado)
46. JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V; BALTIERI, G. 2000.Projeto de pesquisa cooperativa. Avaliacao comparativa da secagem da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. In: WORKSHOP SOBRE SECAGEM DE MADEIRA SERRADA, 3, Piracicaba, 2000. Apresentacao oral. Piracicaba: ESALQ/LCF/IPEF,
47. JANKOWSKY, I.P.; VASCONCELOS DOS SANTOS, G.R; ANDRADE, A. 2003. Secagem da madeira serrada de eucalipto. Circular técnica. IPEF. n° 199. p 01 – 11.
48. KANTAY, R.; AS, N.; UNSAL, O.; 1999. Kiln drying properties of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn) Lumber. University of Istambul, Faculty of Forestry, Departament of Forestru Industrial Engineering, 80895 Bahcekoy/Istambul, Turkey. DOA Dergisi (5), P49-74. Tomado de CAB Abstracts 1990-Present.
49. KAUMAN, W.G. 1958. The influence of drying stresses and anisotropy on collapse in *Euc. regnans*. CSIRO Div. For. Prod. Tech. Paper N°3.
50. (____).1961. Effect of thermal degradation on shrinkage and collapse of wood from 3 Australian species. For. Prod.Jor. v.11, p.445-452.
51. (____.)1964. Cell collapse in wood. South Melbourne: CSIRO, Division of Forest Products,. 63p. (Reprint n.566).
52. (____). 1966.On the deformation and setting of the wood cell wall. CSIRO, Division of Forest Products, Reprint n.11, p.551-556.
53. (____.)2002. Contribution to the theory of cell collapse in wood: investigations with *Eucalyptus regnans*. Maderas: Ciencia y Tecnología. 4 (1), 2002 p.77-99. Tomado de CAB abstracts.
54. KININMONTH, J.A. 1971. Effect of steaming on the fine structure of *Nothofagus fusca*. New Zealand J. of Forest. Sci. 1 (2): 129 – 139.
55. KOLLMANN, F.F.P.; COTÉ, W.A. 1968. Principles of wood science and technology solid wood. New York: Springer,. v.1.
56. KUBINSKY, E.1971. Influence of steaming on the properties of *Quercus rubra* L.wood. *Holzforschung* 25(3):78-83.
57. LANGRISH, T.A.G; KEEY, R.B; KUMAR, M.1992. Improving the quality of timber from red beech (*N. fusca*) by intermittent drying. *Drying Technology* 10(4): 947 – 960p.
58. LENEY,L. 1964. Checking of planed and rough red oak during kiln drying. For. Prod. J. 14(3):103-105.
59. LARSON, T.D; ERICKSON, R.W; BOONE, R.S.1986. Comparison of Drying Methods for paper birch SDR flitches and studs. Forest Products Laboratory. Research Paper FPL 465. 13p
60. LERZ, R; WINCKLER, F; DRESSEL, B; TOPEL, M.1987. Intervalltrockung von Schnottholz. *Holztechnologie* (Leipzig), 28 (4): 210 – 211.
61. LEWIS, D. 1986. Drying hardwoods by deshumidification. FPRS Conf. "Drying lumber for quality and profit ", 15-17 October, Charlotte, N.C: 114 - 118.
62. LITTLE, R.L.1989. Drying hardwood lumber using computer controlled mini-step schedules. Proc. I.U.F.R.O. International Wood Drying Symposium, 23 – 28 July, Seattle, Washington, U.S.A.: 203 – 212.

63. LITTLE, R.L. 1989. TOENNISSON, R.L Drying hardwood lumber using computer controlled mini-step schedules. In: UPGRADING WOOD QUALITY THROUGH DRYING TECHNOLOGY, Tacoma, 1989. Proceedings. Tacoma: IUFRO, p.203-212.
64. LOUGHBOROUGH, W.K.1920. Steaming of lumber before and during kiln drying. USDA Forest. Serv., Forest. Prod. Lab., Madison, Wis. 13 pp.
65. MACKAY, J.F.G. 1971. Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods, Wood Sci., v.3, p.156-160.
66. (_____)1972.Recovery of collapse in *E. delegatensis* by use of anhydrous Ammonia and steam. Wood and Fiber, Lawrence, Kans., v.4, n.3, p.126-129,
67. MARTINEZ, J; MANTERO, C; GERLA, P; SAUER, C; PEPELESCOV, M. 2003. I+D de los proceso básicos de secado y encolado para la transformación de la madera de eucalipto de Uruguay como madera sólida. In Congreso Uruguayo de Ingeniería Química 2003.
68. MCKENZIE,H.M ;TURNER, J.C.P; SHELBOURNE,C.J.A. 2003. Processing young plantationgrown *Eucalyptus nitens* for solid-wood products. 1. Individual-tree variation in quality and recovery of appearance-grade lumber and veneer. New Zealand Journal of Forestry Science 33(1): 62-78.
69. MARSHALL, P.E. 1957. The seasoning of young fast-grown blackbutt and rose gum. Div. Wood Tech. For. Comm. N.S.W Project S4. Prog. Rep. N°1.
70. (_____)1973. The production and drying of wide fletches for scatlings. Austr. For. Ind. J., January: 27 – 31.
71. MARTINS, V.A.; GOUVEIA, F.N.; MARTINEZ, S. 1999. Secagem convencional de madeira de Eucalipto. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 5., Curitiba,. Anais. Curitiba: Biosfera. (Poster).
72. MCMILLEN, J.M; BALTES, R.C.1972. New Kiln Schedule for Pre surfaced Oak lumber. Forest. Pord. Jour. Volúmen 22, (5): 19 – 26p.
73. MILLS, R.1991.Australian Timber Seasoning Manual. Australian Furniture Research and Development Institute Ltd. Launceston, Tasmania, Australia.
74. MUJUMDAR, A. S. (????). Handbook of industrial drying. Second edition revised and expanded. Volúmen 1. Mujumdar. Cánada
75. NASSIF, N.M. 1983. Continuosly varying schedules (CVS): a new technique in wood drying. Wood Sci. Technol., 17: 139 – 141.
76. NEUMANN, R.J. 1989. Kiln Drying young Eucalyptus globulus boards from green Proceedings of the IUFRO international wood drying symposium, july 23.28 1989 Seattle Washington, USA.
77. NEUMANN, R. J.; SAAVEDRA, A. 1992. Holz als Roh- und Werkstoff . Check formation during the *drying* of Eucalyptus globulus . 50 (3): p.106-110.
78. NORTHWAY, R.L. (19??) “Secado de maderas”. Resúmen de la conferencia brindada en el programa de tecnología y ciencia de la madera. División productos forestales. CSIRO, Australia.
79. ORDINARIO, E.G. 1968.. The effect of presteming on the drying rates and qualities of 1-inch thick bagtikan boards. Phil. Lbrmn. 14(12): 27-30.
80. PANDEY, C.N; GAUR, B.K; KANNOJI, H.C.; CHANDRA, A. 1984. A new approach to seasoning of Eucalyptus hybrid (Eucalyptus tereticornis). Indian Forester. February: 117 – 121.
81. PÉREZ del CSTILLO, A.; ONO, A.. 2003. Diferentes Etapas del Proceso de Secado. (en línea). Montevideo. LATU. Consultado 10 de abril de 2005. Disponible en www.latu.org.uy
82. PRIEST, D.T. MALAN, F.S; KNUFFEL, W.E.1982. Degrade in Eucalyptus grandis sawn timber dried in three different ways. C.S.I.R. Spec. Rpt. Hout/224, Pretoria, South Africa.

83. RAYMOND, C.; SAVAGE, L.; HARWOOD, C. 2004. Longitudinal Patterns of Volumetric shrinkage and collapse in *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. In Borralho, N., *et al.* (2004). *Eucalyptus in a Changing World*. Proc. of IUFRO Conf., Aveiro 11-15.
84. RALPH, K.J.; WEEDEN, S.C.; GOODWIN, S.A. 1984. Commercial-scale seasoning trials on backsawn Tasmanian oak. 21st For. Prod. Res. Conf., November, D6.
85. RASMUSSEN, E.F. 1968. Dry kiln operator's manual. Madison: USDA, Forest Service: 197p.
86. RICE, W. 1986. Pre-surfacing lumber before drying. Proc. F.P.R.S. Drying lumber of quality and profit, Charlotte, N.C., p.15-17.
87. RIETZ, R. C.; JENSON, J. A. 1968. Producing check-free beech for turnings. For. Prod. J., v.18, n.11, p.42-44.
88. ROCHA, 2000. Secagem da madeira de Eucalipto. Revista da madeira: p72 – 73.
89. ROZAS, E. M. 1993. Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na derivação de produtos com maior valor agregado. Curitiba: UFPR, 1993. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1993.
90. ROZAS, E., M.; TOMASELLI, I. 1993. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. Ciência Florestal, v. 3, n.1, Santa Maria: CEPEF, p.147-159.
91. SEVERO, E. T. D. 2000. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. Ciência Florestal 10 (1), p.109-124.
92. SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. 2001. Effect of presteaming on some physical properties of *Eucalyptus dunnii* wood. Cerne. 7 (2), p.35-42).
93. SCHAFFNER, R.D.; Doe, P.E. 1984. Surface check reduction in *Eucalyptus* timbers using semi – persuasive coatings 21st For. Prod. Res. Conf., November. D4 N° 25: 1 - 8.
94. SHARMA, S.N. 1997. Some pre treatments for improving seasoning behaviour of refractory Indian hardwoods. Final Res. Rpt. PL 480, Dehra Dun, India.
95. SIMPSON, W.T. 1975. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. Wood Sci. 7(3):247-255.
96. (____). 1976. Steaming northern red oak to reduce kiln drying time. Forest. Prod. J. 26 (10): 35-36
97. (____). 1976. Effect of presteaming on moisture gradient of northern red oak during drying. Wood Sci. 8(4):272-276.
98. (____). 1980. Accelerating the kiln drying of oak. U.S.D.A. For. Prod. Lab. Res. Paper FPL 378, September.
99. (____). 1983. Drying wood: a review. Part II. Drying Technol., v. 2, n. 3, p.353-368, 1983/4.
100. (____). T. 1991. Dry kiln operator's manual. Agric. Handb., Madison, n.188, p.1-274.
101. STOHR, H.P.; MACKAY, D. 1984. Drying Schedule development for young *Eucalyptus grandis* timber. C.S.I.R. Special Rpt. Hout 354. Project n°. TP/43495, Pretoria, South Africa.
102. STOHR, H.C.; MACKAY, D.; DAVIES, H.C. 1984. Industrial implementation of HH orientated schedules in the drying of young 25 mm *Eucalyptus grandis*. C.S.I.R. Special Rpt. Hout 355. Project n°. TP/44048, Pretoria, South Africa.
103. TEUBER, P. 1990. Mejoramiento del secado industrial de *Eucalyptus globulus* L. Proyecto de Título. Concepción, Chile: Depto. de Ingeniería en Maderas Universidad del Bío-Bío.
104. THOMAS, A.J. 1936. The seasoning of stock of various sizes sawn from immature *E. regnans*. Trees. CSIRO (Aust.) Div. For. Prod. Project S 18-1. Prog Rep. N°. 10.
105. TOMASELLI, I. 1978. Secagem a alta temperatura um processo aplicável as condições brasileiras. In: SEMINÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS TROPICAIS DE POVOAMENTOS NATURAIS E ARTIFICIAIS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA MODERNA, Curitiba. Seminário ... Curitiba: FUPEF, p. 62-70.

106. TUSET, R.; DURÁN, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. 696p.
107. TUSET, R.; GARCÍA, R. 1987. Producción de durmientes de eucalipto. Uruguay. Fac. Agron. Bol. Invest. N° 4 1987. 36p.
108. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN FORESTAL. 1996. Proyecto Regional de Alternativas para la inversión Forestal. Montevideo: p 69-72.
109. VERMAAS, H.F.; NEVILLE, C.J. 1989. Evaluation of low temperature and accelerated low temperature drying schedules for *Eucalyptus grandis*. *Holzforschung*, 43 (3): 207 – 212..
110. VERMAAS, H.F. 1995. Drying eucalypts for quality: material characteristics, pre drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. IN: SEMINARIO INTERNACIONAL D UTILIZACAO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIO, Sao Paulo, 1995. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT,. p. 119-132.
111. VERMAAS, H.F. 1998. Drying of eucalypts with especial reference to young, fast-grown plantation material. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SOLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGÍA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGÍAS APROPIADAS DE DESDOBRO , SECAGEM E UTILIZACAO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1, Belo horizonte, 1998. Anais. Viosa: SIF/UFV. p.106-118.
112. WALKER, J. C. F. 1993 The drying of timber. In: WALKER, J.C.F. *et al.* Primary wood processing: principles and practice. London: Chapman & Hall. p.247-284.
113. WAUGH, G.; ROZSA, A. 1991. Sawn products from regrowth *Eucalyptus regnans* . Chapter 7: The young Eucalypt Report-some management options for Australia's regrowth forests. Editors: C.W. Kerruish and W.H.M. Rawlins.
114. WENGERT, E.M.; EVANS, R.G. 1971. Automatic programming and control for steamheated dry kilns. *Forest Prod. J.* 21(2): 56-59.
115. WENGERT, E.M.; LAMB, F.M. 1988. Matching a drying system to a mill's requirements. *Drying technology. World wood.* October. Pag: 31 – 34.
116. WENGERT, G. 2004. Kiln venting, critical drying time FDM. Des Plaines: Sep .Volúmen.76, Iss. 13; pg. 26, 3 pgs..
117. WRIGTH, G.W. 1937. Kiln drying schedules for immature *E. grandis* CSIRO (Aust.) Div. For. Prod. Project S 18-3. Prog. Rep. N° 3.