

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL RANURADO "KERFING" SOBRE LOS DEFECTOS
PRODUCIDOS DURANTE EL SECADO DE VIGAS DE *EUCALYPTUS*
*GRANDIS***

por

Marcos MENDIONDO ACUÑA

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: -----

Autor: -----

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

A los docentes del Departamento forestal de la Facultad de Agronomía, particularmente a Carlos Mantero por la paciencia y dedicación.

Al personal de carpintería de la Facultad de Agronomía, a los funcionarios del instituto de la construcción de la Facultad de Arquitectura, por el espacio y la cooperación durante las tareas de ensayos, en especial a la Arq. María Calone por sus sugerencias y su tiempo.

Al Departamento de análisis químicos de la Facultad de Ingeniería, donde se desarrollaron las tareas de secado.

A mi familia y compañeros de trabajo, por la tolerancia.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| PAGINA DE APROBACION | II |
| AGRADECIMIENTOS | III |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES | VI |
| | |
| 1. <u>INTRODUCCION</u> | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO | 2 |
| | |
| 2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> | 3 |
| 2.1 SECADO | 3 |
| 2.1.1 <u>Generalidades</u> | 3 |
| 2.1.2 <u>Punto de saturación de las fibras</u> | 3 |
| 2.1.3 <u>Programas de secado</u> | 5 |
| 2.1.4 <u>Características del secado del género</u> | 7 |
| 2.1.5 <u>Espesor de la madera</u> | 12 |
| 2.1.6 <u>Efectos del vaporizado</u> | 13 |
| | |
| 2.2 EFECTOS DEL CEPILLADO | 16 |
| 2.3 PROPIEDADES FISICAS | 19 |
| 2.3.1 <u>Densidad</u> | 19 |
| 2.3.1.1 Valores de referencia | 20 |
| 2.4 PROPIEDADES MECANICAS | 21 |
| 2.4.1 <u>Modulo de rotura</u> | 22 |
| 2.4.1.1 Valores de referencia | 22 |
| 2.4.2 <u>Modulo de elasticidad</u> | 23 |
| 2.4.2.1 Valores de referencia | 23 |
| 2.4.3 <u>Factores que afectan las propiedades mecánicas</u> | 24 |
| 2.4.3.1 Defectos | 25 |
| 2.4.3.2 Densidad | 25 |
| 2.4.3.3 Humedad | 25 |
| 2.4.3.4 Temperatura | 26 |
| 2.4.3.5 Albura y duramen | 26 |
| 2.5 VIGAS | 26 |
| 2.5.1 <u>Vigas doble T</u> | 27 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 3. <u>MATERIALES Y METODOS</u> | 28 |
| 3.1 PROGRAMA SECADO | 30 |
| 3.2 EVALUACION DEFECTOS | 32 |
| 3.3 CALCULOS DENSIDAD | 34 |
| 3.4 MOE Y MOR | 35 |
| 3.4.1 <u>Formulas utilizadas</u> | 36 |
| 3.5 PROBETAS | 37 |
| 3.6 HUMEDAD FINAL | 38 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUCION</u> | 40 |
| 4.1 HUMEDAD FINAL | 41 |
| 4.1.2 <u>Distribución humedad</u> | 42 |
| 4.2 ANALISIS MOE Y MOR | 44 |
| 4.3 ANALISIS DEFECTOS | 48 |
| 4.4 PESO ESPECIFICO CORRIENTE | 52 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> | 55 |
| 6. <u>RESUMEN</u> | 56 |
| 7. <u>SUMMARY</u> | 57 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFIA</u> | 58 |
| 9. <u>ANEXOS</u> | 63 |

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. | | Página |
|-------------------|--|---------------|
| 1. | Programa de Secado CTBA | 6 |
| 2. | Programa de Secado CSIRO | 6 |
| 3. | Programa Secado Bio-Bio | 6 |
| 4. | Programa Secado INETI | 7 |
| 5. | Programa de Secado Utilizado | 31 |
| 6. | Clasificación Visual de Defectos | 32 |
| 7. | Contenidos de humedad final | 41 |
| 8. | ANAVA-Humedad | 41 |
| 9. | Test Tukey-Humedad | 42 |
| 10. | Fisher-Humedad “Ranurado” | 43 |
| 11. | Fisher-Humedad “sin Ranurar” | 43 |
| 12. | MOE y MOR Promedios | 44 |
| 13. | Comparativo MOE | 44 |
| 14. | ANAVA-MOE | 44 |
| 15. | Comparativo MOR | 45 |
| 16. | ANAVA-MOR | 45 |
| 17. | Defectos “Ranuradas” | 48 |
| 18. | Defectos “sin Ranurar” | 49 |
| 19. | Peso Específico sin Ranurar | 52 |
| 20. | Peso Específico Ranuradas | 52 |
| 21. | ANAVA-Densidad | 53 |
| 22. | Test-Tukey-Densidad | 53 |
| 23. | Peso Específico Promedio | 54 |
| | | |
| Figura No. | | |
| 1. | Curva Característica de secado para materiales porosos | 8 |
| 2. | Curva Característica secado de <i>E.grandis</i> | 9 |
| 3. | Gráfico Distribución del CH | 15 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4. | Foto rajaduras de cabezas | 18 |
| 5. | Foto Horno de Secado | 30 |
| 6. | Esquema Flexión Estática | 36 |
| 7. | Probetas sin tratar | 37 |
| 8. | Probetas Tratadas | 37 |
| 9. | Gráfico Distribución CH según Perfil | 42 |
| 10. | Curva Carga Vs. Deformación (sin tratar) | 47 |
| 11. | Curva Carga Vs. Deformación (tratadas) | 47 |
| 12. | Gráfico Efectos del cepillado sobre defectos (tratadas) | 48 |
| 13. | Gráfico Efectos del cepillado sobre defectos (sin tratar) | 50 |
| 14. | Gráfico Ocurrencia de defectos según tratamiento | 51 |

1. INTRODUCCION

El *Eucalyptus grandis* representa en el Uruguay una de las especies forestales más importantes en lo referente a producción de maderas para aserrío.

Su velocidad de crecimiento, rectitud del fuste, poda natural, y su comportamiento en el proceso de secado en relación a otras especies con características mecánicas similares, le dan a *Eucalyptus grandis* un lugar de liderazgo dentro del género.

El secado de maderas de aserrío representa uno de los procesos más difíciles de cumplir con éxito dentro de la cadena de transformación mecánica de la madera.

El proceso de secado, agrega valor a la madera y asegura la estabilidad dimensional de las piezas. Este punto es de especial interés para quienes utilizan la madera en procesos de construcción, ya sea de artículos livianos o como piezas estructurales.

Los bajos contenidos de humedad, la estabilidad dimensional y la calidad de la madera, son en la actualidad requerimientos tanto del mercado local como del internacional.

Entre las limitantes más importantes se destacan los altos costos energéticos del proceso, y los niveles de descarte que se generan con la aparición de defectos durante y después de finalizado el mismo.

En Uruguay el secado en cámara es todavía una actividad de escasa relevancia dentro del sector industrial maderero. La predominancia de pequeños y medianos aserraderos, el desarrollo restringido de los procesos de elaboración de productos madereros y la limitación del recurso forestal y de sus perspectivas hasta fines de la década pasada son los principales factores que explican esta situación.

La escasez de infraestructura para la realización del secado de madera, exige el estudio de prácticas complementarias, para hacer del secado un proceso más eficiente.

En 1996, se estimaba que la capacidad física de secado en el país rondaba los 750 m³, distribuidos en 20 secadores de una capacidad individual comprendida entre 10 y 75 m³.

Indudablemente, las expectativas suscitadas por el actual proceso de forestación cambian el panorama presente y futuro con respecto a la actividad del secado en el país.

Para citar un ejemplo de la capacidad de expansión que el proceso de secado puede tener, es relevante citar el caso de Chile que cuenta con una capacidad de secado 20 veces mayor a la de Uruguay y las estimaciones anticipan que dicha capacidad se multiplicará por cuatro en los próximos 10 años.

Si Uruguay apunta a expandirse a mercados internacionales exigentes, para colocar sus productos madereros, los límites de expansión que puede sufrir la infraestructura aplicada al secado son promisorios y difíciles de predecir.

A continuación se presenta un trabajo de investigación que pretende evaluar el uso de tratamientos mecánicos en vigas de madera, como complementos al proceso de secado, es así que se realizó un ranurado en vigas de tamaño estructural, para someterlas a secado y comparar su comportamiento respecto de vigas sin ranurar. También se evaluó la influencia del cepillado de las vigas referido a la producción de defectos.

Este tratamiento de Ranurado que recibe el nombre de ***Kerfing*** pretende disminuir los defectos que se originan durante el secado; mejorar la distribución de la humedad final de las piezas a secar; y evitar la alteración de las propiedades mecánicas y estructurales de la madera.

De esta forma se comenzó el presente trabajo, utilizando un total de 34 vigas, 17 con el tratamiento de ranurado y 17 sin el mencionado tratamiento.

Las dimensiones finales de las vigas fueron de 4.5 cm de espesor, 12.5 cm de ancho y 240 cm de largo. El ranurado se realizó en las dos caras de las vigas en sentido perpendicular a la longitud y en todo su largo cada 7.5 cm, con una dimensión media de 9 cm de largo por 2 mm de espesor.

Se evaluará el tratamiento de ranurado, teniendo como cometido la obtención de maderas estables con el menor descarte posible, entendiendo que dicho factor es limitante en el proceso.

1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Debido a los altos niveles de descarte que se generan al secar la madera, se evaluó el proceso mecánico de ranurado “Kerfing” de las tablas y su afección durante el proceso de secado, para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Comparación del secado de vigas con y sin el ranurado.
- Evaluación de la ocurrencia.
- Evaluación del efecto de ranurado sobre la resistencia mecánica de las vigas.
- Descripción de la distribución final de la humedad, en perfiles.

El objetivo es mejorar la calidad de la madera aserrada de eucalipto para darle un uso final con mayor valor agregado como sería su uso en la construcción de programas arquitectónicos de pequeñas y grandes luces.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. SECADO

2.1.1. Generalidades

Uno de los procesos más exigentes en la preparación de la madera para usos industriales y domésticos es el secado. De hecho, de su correcto desarrollo depende que este material ofrezca buenos resultados durante y después del proceso de transformación.

Las propiedades físicas y mecánicas de la materia prima así como las técnicas que se refieren al tipo y manejo de los equipos escogidos para esta práctica son aspectos fundamentales cuando se planea realizar el secado.

De esta manera, el éxito del proceso y la calidad final de la madera secada, se remonta a una elección acertada de la materia prima a utilizar, y al conocimiento de los procesos que se desarrollan durante el secado.

Jankowsky (1995) define como objetivo del secado artificial, la promoción del equilibrio entre la velocidad de evacuación de agua desde la superficie y la tasa de movimiento interno tanto de calor como de humedad. De esta manera se busca realizar el secado en un período de tiempo más corto y reducir el nivel de pérdidas por ocurrencia de defectos.

2.1.2. Punto de saturación de la fibra

Para la mayor parte de las especies de madera, el punto de saturación de la fibra (PSF) se sitúa en torno a un contenido de humedad del 30% y se corresponde con la transición entre las distintas formas en que el agua está presente en la madera.

Por encima del PSF, el agua rellena el interior de las cavidades celulares (agua libre) y su eliminación se realiza de forma rápida y sin alterar las dimensiones de la madera.

Por debajo del valor del PSF, el agua se encuentra fuertemente unida en las paredes celulares (agua higroscópica) y su eliminación se realiza de forma más lenta, insumiendo un mayor gasto energético y provocando trastornos dimensionales de la madera, denominados “defectos” de secado.

A su vez, las variaciones del CH, por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF) traen consigo cambios dimensionales. Los movimientos de cada especie de madera se expresan mediante sus coeficientes de contracción tangencial y radial.

Estos coeficientes indican la variación dimensional en porcentaje y pueden ser totales (desde el PSF hasta la madera totalmente seca) o bien unitarios (referido a cada unidad porcentual de humedad).

Touza y Saavedra (2008) describen para el género eucalipto, un punto de saturación de la fibra mucho más elevado que el de la mayoría de las especies, situándose a menudo entre un 35 y un 40%.

Un presecado en unas condiciones de 27°C y 80% HR y una velocidad de aire entre las pilas de 1m/s, permite disminuir el contenido medio de humedad de madera de 30-32 mm de espesor desde un 65% hasta un 30%, en un periodo de 20 a 30 días. Posteriormente, el tiempo requerido para alcanzar una humedad final del 12%, a partir de madera presecada (30% de humedad) es de 15-20 días y permite obtener una buena calidad de secado (Touza y Saavedra, 2008).

Para *E.grandis* aseguran que el elevado valor del PSF está relacionado con la lentitud requerida, en condiciones normales, para secar la madera, ya que con contenidos de humedad del 40% el proceso de secado se ralentiza de forma importante, al estar el agua fuertemente vinculada a las paredes celulares.

2.1.3. Programas de Secado

Si bien en posteriores puntos se especificará el programa de secado utilizado, este punto pretende citar algunas referencias en base a recomendaciones vertidas en trabajos científicos pertenecientes a instituciones de investigación de renombre mundial, que refieren al secado de *Eucalyptus Sp*, entre las que se destacan CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization); CTBA (Centre Technique de Bois et de l'Ameublement; INETI (Instituto Nacional de Engenharia e Technica Industrial); etc.

En este sentido se citan 4 propuestas de secado reconocidas mundialmente. Dichos programas pueden servir de guía al momento del secado, no necesariamente se debe hacer un uso riguroso de los mismos.

El hecho de utilizarlos como guía permite realizar modificaciones en el correr del proceso en base a las dificultades específicas que se presenten.

El programa de secado recomendado en Francia por el Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA) para secar madera de eucalipto blanco, se inicia con unas condiciones suaves y constantes hasta que la madera alcanza un contenido de humedad del 35%. A partir de este valor, las condiciones de humedad y temperatura se endurecen progresivamente hasta alcanzar una temperatura máxima de 65°C.

Cuadro No. 1: Programa Secado CTBA

| CTBA | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Humedad madera | Temperatura (°C) | Humedad relativa (%) |
| Verde | 30 | 82 |
| 35 | 30 | 80 |
| 30 | 40 | 80 |
| 25 | 50 | 70 |
| 20 | 60 | 57 |
| 15 | 65 | 42 |

La siguiente referencia proviene de la División de Investigación y Productos Forestales del Australia's Commonwealth Scientific and Industrial

Research Organisation (CSIRO) y ha sido empleada para secar madera de eucalipto blanco de despiece radial y con un espesor de referencia de 25 mm.

Cuadro No. 2: Programa Secado CSIRO

| CSIRO | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Humedad madera | Temperatura (°C) | Humedad relativa (%) |
| Verde | 45 | 83 |
| 60 | 45 | 78 |
| 40 | 50 | 75 |
| 35 | 50 | 75 |
| 30 | 55 | 64 |
| 25 | 60 | 58 |
| 20 | 70 | 47 |
| 15-Final | 70 | 35 |

La facultad de Tecnología de la Madera de la Universidad del Bío-Bío (Chile), recomienda el siguiente programa de secado: Como se puede comprobar, tomando como referencia el modelo del CTBA, en este caso se endurecen considerablemente las condiciones iniciales, suavizando por el contrario las condiciones de temperatura de las últimas fases.

Cuadro No. 3: Programa Secado Bio-Bio.

| UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Humedad madera | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) |
| 60 | 35 | 82 |
| 50 | 40 | 82 |
| 40 | 45 | 77 |
| 30 | 50 | 75 |
| 20 | 55 | 57 |
| 10 | 60 | 43 |

En Portugal, el Instituto Nacional de Engenharia e Técnica Industrial (INETI) recomienda condiciones en las que se llega a alcanzar temperaturas superiores a los 70°C. Las referencias sobre este modelo de secado cifran en 25 días el tiempo necesario para alcanzar un contenido de humedad del 10% de humedad en madera de 30 mm de espesor.

Cuadro No. 4: Programa Secado INETI.

| INETI | | |
|-------------------|---------------------|-------------------------|
| Humedad madera | Temperatura (°C) | Humedad relativa (%) |
| 50 | 35 | 70 |
| 40 | 36 | 71 |
| 30 | 38 | 65 |
| 25 | 47 | 45 |
| 20 | 55 | 35 |
| 12 | 72 | 27 |

Jankowsky (2003) recomienda para los programas de secado del genero *Eucalyptus* la utilizacion de bajas temperaturas, sobre todo en el inicio del proceso y con un potencial de secado bastante suave.

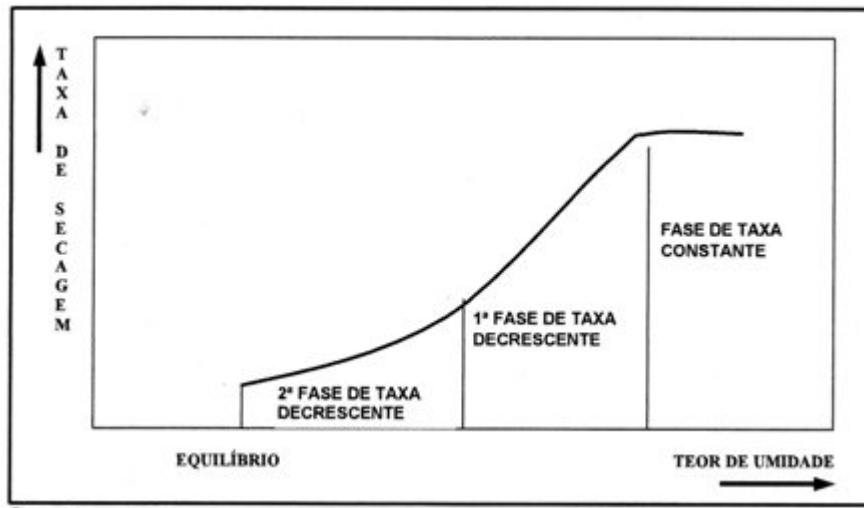
(Ciniglio, citado por Jankowsky,2003) estima periodos de secado artificial de 27 días para maderas de 25 mm de espesor debido a las condiciones suaves.

2.1.4. Características del secado de genero *Eucalyptus*

La madera es un material poroso e higroscópico, conteniendo agua en estado liquido dentro de sus fibras y adsorbida junto a los componentes de la pared celular. (Jankowsky et al., 2003).

Jankowsky (1995) describe tres estadios diferentes durante el secado por convección de un material poroso, con variaciones en la tasa de secado para cada intervalo del proceso. Estas tasas de secado diferenciales determinan la curva característica de secado del material.

Figura No. 1: Curva característica de secado para materiales porosos. (Rosen, citado por Jankowsky et al., 2003).

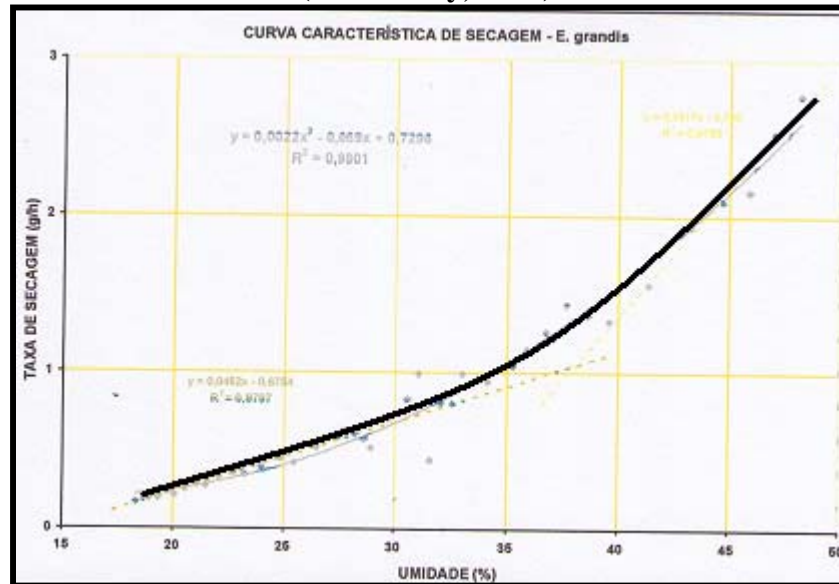


La primera fase, a tasa de secado constante ocurre la evaporación de agua líquida en la superficie del material y el movimiento de agua desde el interior hacia la superficie por fuerzas de capilaridad. A medida que el material pierde humedad, la vaporización de agua en la superficie genera un gradiente de humedad.

Cuando el agua que llega a la superficie es menor que el agua evaporada en la superficie del material, comienza la primera etapa de secado a tasa decreciente. El movimiento de agua interna ocurre entonces en forma de agua líquida, vapor y como agua higroscópica. El movimiento del agua líquida es fundamentalmente por capilaridad, siendo afectada por la estructura anatómica de la madera. El movimiento en las fases restantes es un proceso de difusión, afectado por la estructura del material, condiciones termodinámicas del aire y por el peso específico de la madera. Aquí la influencia del material sobre la tasa de secado es significativa.

El estadio final o también llamada segunda fase de tasa decreciente, se caracteriza por la ausencia de agua libre en el material y se limita a la eliminación de agua fijada en el interior de la estructura.

Figura No. 2: Curva característica de secado de *E.grandis* (Jankowsky, 2003).



Como puede visualizarse en la Figura No.2, la madera de eucalipto no presenta la fase de tasa constante característica de una curva de secado, comprobando la impermeabilidad de la especie. La reducida permeabilidad implica la necesidad de un secado lento y el desarrollo de gradientes de humedad por encima de lo normal (Jankowsky, 2003).

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).

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).

La velocidad del secado de la madera puede ser representada por las variaciones temporales de la humedad de la madera. Teóricamente la velocidad del secado presenta una etapa constante al inicio, hasta el

contenido de humedad crítico (CHC), luego es decreciente hasta el contenido de humedad de equilibrio (CHE). La primera etapa de velocidad de secado constante depende solamente de las condiciones del ambiente de secado, esto es, el movimiento interno es de agua líquida hasta la superficie de la madera, donde se evapora.

Cuando no llega suficiente líquido a la superficie, ésta ingresa al rango higroscópico y el frente de evaporación se desplaza al interior de la madera favoreciendo una velocidad de secado decreciente (Ananías et al., 2005).

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. (Vermaas, citado 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, citado por Severo, 2000).

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%.

Bluhm et al., 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 tílides.

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 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 promisorio para reducir el alabeo es secar tablas anchas y re aserrarlas después del secado (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).

La realización durante el secado de diversas etapas de acondicionamiento de la madera por medio de vaporización, durante periodos cortos de tiempo, permite lograr una distribución homogénea del contenido de humedad y disminuir la influencia de las diferencias de densidad existentes.

Si la madera ha sido seleccionada previamente (edad adecuada, orientación radial, influencia de la médula, desviación de la fibra, etc.), no debe existir presencia significativa de defectos como colapso ni fendas internas o superficiales. (Touza y Saavedra, 2008)

2.1.5 Espesor de la madera

El espesor de la madera influye en la duración del tiempo de secado y en la severidad de las condiciones que puede soportar. En el caso de secar espesores elevados, es necesario establecer condiciones ambientales más suaves que las que se podrían alcanzar con una partida de menor espesor. En la práctica, se recomienda seleccionar las partidas de madera y clasificarlas por espesores para optimizar el programa de secado y no someter a la madera a condiciones más severas de las que puede soportar. (Touza y Saavedra, 2008).

En el caso de secar partidas de madera con importantes diferencias de espesor, (espesores comprendidos entre 25 y 45 mm) la conducción del secado se realizará con los datos obtenidos de los testigos de mayor espesor. De esta forma se previene la presencia de defectos de secado, a costa de una pérdida de disponibilidad de la partida de madera con menor espesor. (Touza y Saavedra, 2008).

En otro orden, la colocación de tablas con distinto espesor en las filas de las pilas de madera, favorece la presencia de defectos de deformaciones (curvaturas de cara, abarquillados) en las tablas de menor espesor, al no recibir la presión que ejercen las pilas superiores.

2.1.6 Efecto del vaporizado

El término pre vaporizado ha sido designado para describir la operación que se ejecuta sobre la madera verde, previa 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 las tablas refractarias. (Campbell et al., 1978).

Las rajaduras en los extremos de la madera y ciertos alabeos, principalmente la encorvadura, que se desarrollan por la liberación de las tensiones de crecimiento, pueden eliminarse o reducirse por una combinación de anillamiento de los árboles y posterior vaporizado de las trozas (Rozas y Steinhagen, 1996).

También observaron, una reducción en la curvatura general de tablas obtenidas a partir del reaserrado de tablonos secos, en comparación con las tablas obtenidas a partir de trozas verdes. Similares observaciones fueron hechas por Marshall; Bermúdez *et al.*, (2002), ambos autores citados por Vermaas (1995).

Ferrando y Olivera (2004) concluyen que con intervenciones de vaporización se homogeneizó la distribución de la humedad en las piezas.

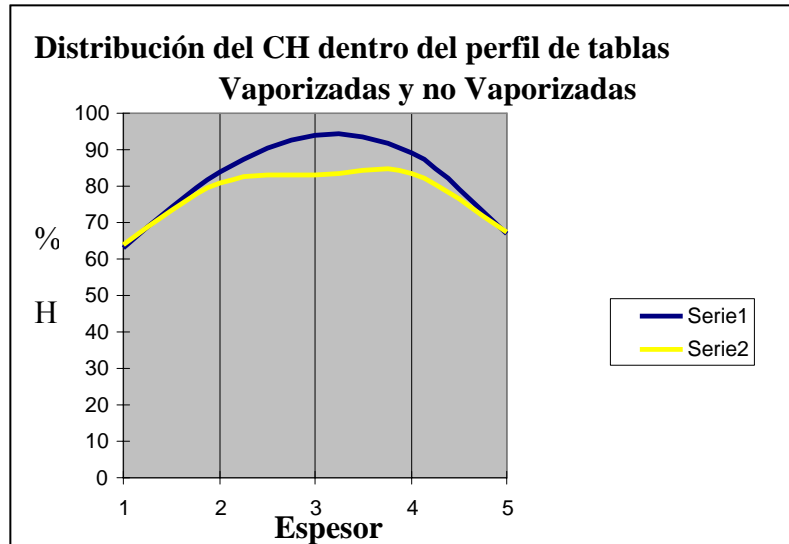
(Harris et al., citados por Ferrando y Olivera, 2004). describen una tasa de secado mayor en las muestras vaporizadas frente a las no vaporizadas los primeros seis a ocho días. Después de los primeros ocho días, la tasa de secado se mantuvo durante aproximadamente diez días para ambas muestras. De éstas, las no vaporizadas presentaron una mayor tasa de secado que las vaporizadas.

Alexiou et al., (1990). 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.

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 3 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 fuera durante el vaporizado y enfriado.

Figura No. 3: Distribución del CH a través del espesor de una tabla vaporizada y otra no vaporizada en cinco puntos (Harris et al., citados por Ferrando y Olivera, 2004).



Los puntos 1 y 5 representan el borde y el punto 3 representa el centro de la tabla. La serie 1 corresponde a la tabla no vaporizada y la serie 2 a la tabla vaporizada y enfriada. Fuente (Harris et al, citados por Ferrando y Olivera, 2004).

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., citado por Ferrando y Olivera 2004).

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., citados por Ferrando y Olivera, 2004).

Ferrando y Olivera, (2004) encontraron que para *Eucalyptus* colorados 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 técnica.

2.2 EFECTOS DEL CEPILLADO SOBRE DEFECTOS

El cepillado de madera previo al secado permite remover fracturas y grietas ocasionadas por la sierra en la superficie de las vigas.

La técnica de cepillar las tablas trae aparejadas otras ventajas sobre el secado mejorando la calidad de los castillos dentro de los hornos de secado, reduce las diferencias de espesor que puedan existir entre tablas, y elimina gran cantidad de grietas superficiales.

El cepillado de las vigas previo al secado en cámara permite remover fracturas ocasionadas por la sierra en la superficie y parece ser una vía efectiva para minimizar el desarrollo del agrietado superficial en especies propensas a este defecto (Cuppet et al., 1972; Cech et al., 1975; citados por Vermaas, 1995).

McMillen (1972) demostró que las tablas procesadas con sierra circular presentan grietas superficiales y que la madera secada con estos defectos era más susceptible de sufrir agrietado superficial, en relación a las vigas cepilladas sin defectos.

La explicación de dicha diferencia radica en que entorno a las grietas se generan tensiones de secado, que provocan un efecto más evidente luego del secado si la pieza antes del mismo ya presenta grietas superficiales. Si las vigas no presentan estas grietas las tensiones generadas durante el secado no tienen un efecto tan acentuado, redundando en una menor ocurrencia de defectos.

Simpson (1980) reporta reducciones en los tiempos de secado al pre-cepillar y pre-vaporizar roble utilizando un programa acelerado y gradual.

Rice; 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.

Algunos autores describen una marcada reducción en los tiempos de secado de la madera cepillada, pero en este caso toda la madera secada recibió el pre- cepillado por lo que no se reparo en comprobar dicha reducción.

Ferrando y Olivera (2004). Concluyen que el cepillado corrigió defectos como el abarquillado, colapso y agrietamiento superficial, además de mejorar la apariencia visual de las tablas.

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).

Las rajaduras de cabeza, son categorizadas por (Campbell et al., 1978), como un problema común en tablas de poco espesor, durante el inicio del secado.

Brennan et al; citado por Vermaas (1995). Recomiendan realizar un Pre-Secado al aire para minimizar este efecto.

Figura No. 4: Foto de rajaduras de cabezas, Pre-Secado



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).

Las contracciones se producen por debajo del Punto de Saturación de las Fibras (P.S.F) como consecuencia de la pérdida del agua presente en las paredes celulares de la madera.

La diferencia entre la contracción transversal y longitudinal se debe, básicamente, a la variación de ángulos respecto del eje axial de las células leñosas que poseen las microfibrillas de una de las láminas que conforman las paredes celulares. Más precisamente, la lámina secundaria denominada “S2”, cuyo ángulo es de 20°. Galvao y Jankowsky (1985).

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; Mc Kenzie et al; ambos citados por Raymond et al., (2004).

Zakowicz (2000) reporta los siguientes valores de contracción promedios obtenidos para *Eucalyptus grandis*, desde madera verde (98% de humedad promedio b.s.) hasta aproximadamente el 14%.

- Espesor: 4.9 % para espesores de 1"
- Promedio: 6,0%
- Ancho: 5.2%
- Largo: 0,08%
- Volumen: 11.8%

Touza y Saavedra (2008). estimaron coeficientes de contracción elevados situándose en un 8-9% para la dirección radial y en un 14-15% para la dirección tangencial, trabajando en España con tablas de *E.grandis*.

2.3 PROPIEDADES FISICAS

2.3.1. Peso específico corriente o densidad corriente

Senyszyn (1999), define las variaciones del peso específico a nivel inter específico e intra específico, y dentro de este último resalta las variaciones debidas al contenido de humedad, la estructura y la zona del árbol de donde se toman la muestras.

La variabilidad de la densidad dentro y entre especies, se debe a las distintas proporciones de sustancias leñosas y materiales extraños por unidad de volumen. La cantidad de sustancia leñosa esta determinada en gran parte por las características estructurales de la madera, tales como tamaño y proporción de los distintos tipos celulares, y por el espesor de las paredes celulares, siendo esta última le de mayor efecto en la densidad. Brown et al., citados por Buzzo et al., (1997).

El peso específico aparente es extraordinariamente variable ya que depende no solo de la estructura misma de la madera, sino también del contenido de humedad de la muestra, la cual influye sobre el peso y el volumen. Esto implica que al comparar valores de peso específico aparente sea necesario indicar la humedad a la cual el valor fue determinado (Coronel, 1994).

2.3.1.1 Valores de referencia densidad

Doldán (2003) obtuvo para muestras de *Eucalyptus grandis* con una edad de 18 años, plantados en el departamento de Río Negro, Uruguay. Una densidad al 12% de humedad de 0.430 gr/cm³.

Pérez del Castillo (2001) trabajando con probetas de *Eucalyptus grandis* libres de defectos valores de densidad media de 0.550 gr/cm³.

Piter (2003) reporta valores de entre 513 y 567 Kg/m³, en tablas de *Eucalyptus grandis* de tamaño estructural.

Böthig (2001) presenta valores de densidad de 0.463 gr/cm^3 , para probetas de *Eucalyptus grandis* de 14 años de edad.

Fernández (2004) trabajando con muestras de *Eucalyptus grandis* de 2 y 3 años de edad, creciendo en el departamento de Rivera, Uruguay calcula un valor de densidad de 0.368 gr/cm^3 .

La densidad básica se usa comúnmente como indicador de varias características mecánicas y posibles usos potenciales de las maderas.

Existe una relación directa entre la densidad y las características mecánicas de las maderas. Tanto el Módulo de Elasticidad como el Módulo de Rotura se incrementan al incrementarse la densidad.

2.4 PROPIEDADES MECANICAS

Son aquellas que indican la capacidad de los materiales para resistir fuerzas externas, de acuerdo con estas capacidades serán los usos a que los materiales son destinados y las secciones transversales necesarias para asegurar una adecuada estabilidad estructural en la construcción. Conforme a la amplia gama de situaciones a las cuales puede estar expuesto un material durante su uso. Se han definido diversas propiedades mecánicas (CORMA, 2003).

Las relaciones matemáticas a utilizar se fundamentan en los principios básicos de la mecánica de sólidos que permiten definir concretamente el comportamiento de las vigas, a través de la determinación de parámetros específicos, tales como el módulo de elasticidad (MOE), y el módulo de rotura (MOR) entre otros, cuyas aplicaciones en el diseño estructural cumplen un rol importante. (Poblete y Hempel, 1980).

2.4.1. Módulo de Rotura (MOR)

El Modulo de Rotura (MOR), se define como el esfuerzo unitario máximo provocado a una probeta de madera en el momento de su rotura.

Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material, antes que se produzca la falla. Cualquier incremento adicional de carga sobre el material provocará la rotura de la viga. (CORMA, 2003).

Senyszyn (1999), denomina a la carga de ruptura, al valor de carga que produce la rotura o fractura total de la pieza; también se denomina “límite de ruptura” o “esfuerzo de ruptura”. Otra característica importante de este parámetro es su facilidad de medición, en cualquier tipo de ensayo.

Con cargas superiores a la correspondiente a este límite, se produce un alargamiento o acortamiento, o una flecha permanente, es decir, una deformación permanente. Mas allá del limite de elasticidad, entonces, la madera muestra su “plasticidad”, (propiedad opuesta a la elasticidad).

Pérez del castillo (2001) encontró diferencias estadísticamente significativas para los valores de MOR obtenidos a partir de tablas categorizadas en distintas clases según la ocurrencia de defectos visuales, evidenciando que la presencia de defectos en las tablas provoca una disminución de la resistencia a la flexión, o sea un menor valor de MOR.

2.4.1.1 Valores de referencia

O’neill et al. (2006) realizaron pruebas mecánicas según Norma ASTM D 198–98 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Strutural Sizes – Flexure, con madera de *E.grandis* de 30 años de edad plantados en del departamento de Durazno, obtuvieron valores de Modulo de Rotura de 46,0 MPa equivalentes a 469 Kgf/cm².

O'Neill et al. (2005) reporta valores de MOR de 72,5 MPa trabajando con probetas de *E.grandis* libres de defectos, provenientes de individuos de 21 años de edad plantados en el norte del país.

Perez del Castillo (2001), trabajó con tablas de 50 mm de espesor, 150 mm de ancho y 2800 mm de largo, a las que practicó el ensayo de MOR según norma ASTM D 198-98, encontrando un valor promedio de 54 MPa.

2.4.2. Módulo de Elasticidad (MOE)

El Módulo de Elasticidad, (MOE), se define como la relación entre el esfuerzo por unidad de superficie sobre la deformación por unidad de longitud, constituyendo una medida de la rigidez o flexibilidad de una madera. Cuanto mas alto sea su valor mayor será su rigidez.

El Módulo de Elasticidad se obtiene relacionando una carga dentro del límite de proporcionalidad (Kg/cm²) con su deformación correspondiente. Constituye en numero indicativo de la rigidez; cuanto mayor sea esta relación, tanto mas rígida será la madera; cuanto menor sea, tanto mas flexible o elástica.

Senyszyn (1999), define a la elasticidad como la propiedad que permite a la madera recuperar su forma o dimensiones originales, cuando se suprime la carga que la modificó. Sin embargo esto ocurre solamente cuando la carga unitaria no excede el límite de elasticidad.

Es la medida de la rigidez del material experimentada por una viga sometida a flexión. Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solo a condiciones de trabajo dentro de la zona elástica de la curva tensión versus deformación. (CORMA, 2003).

2.4.2.1. Valores de referencia (MOE)

Pérez del Castillo y Venturino (2003) trabajando con probetas libres de defectos de *E.grandis* provenientes del norte del país, reporta valores de MOE entre 15903 MPa y 8232 MPa, encontrando una media aritmética de 11338 MPa.

O’neill et al. (2006) realizaron pruebas mecánicas según Norma ASTM D 198–98 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes – Flexure, con madera de *E.grandis* de 30 años de edad plantados en del departamento de Durazno, obteniendo resultados de MOE promedio de 15213 MPa con máximos de 18466 MPa y mínimos de 12544 MPa.

Pérez del Castillo (2001) trabajando con tablas de *E.grandis* de tamaño estructural reporta valores de MOE entre 11200 N mm² y 12600 N mm². Conforme a la norma ASTM D 198-98.

O’neill et al. (2005) encontraron valores de MOE promedio de 11628 MPa trabajando con probetas libres de defectos, según norma JIS Z 2101–1994 (JIS Z 2113-63) “Method of Bending Test for Wood”. Las probetas pertenecían a individuos de *E.grandis* de 21 años de edad plantados en el departamento de Rivera.

2.4.3 Factores que afectan las propiedades mecánicas

La madera tiene una compleja estructura natural, la variabilidad entre árboles y entre la misma especie responde a diferencias genéticas, de ambiente o de ambas. En un mismo árbol el crecimiento es irregular. Existen además diferencias en las propiedades mecánicas debido al tratamiento de la madera durante su elaboración (CORMA, 2003).

Los factores que inciden sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas son:

2.4.3.1 Defectos

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico-química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente, una limitación en su aplicación o uso. Los defectos que mayormente inciden sobre las propiedades mecánicas son: Nudos, grietas, rajaduras, pudrición, médula y alabeos. (CORMA, 2003).

2.4.3.2 Densidad

La densidad o peso específico de una pieza de madera, es el criterio más satisfactorio para estimar su resistencia. Las diferencias de composición que presentan las especies entre si y dentro de ellas, es la primera causa de la variación de la densidad. La densidad de la madera varía aun dentro del mismo árbol. Por lo tanto se puede concluir que a medida que aumenta la densidad mejora la resistencia.

Desde el punto macroscópico de la madera, a mayor proporción de madera de verano, implica mayor densidad y, más resistencia mecánica. (CORMA, 2003).

2.4.3.3 Contenido de humedad

Cuando la madera pierde agua bajo el punto de saturación de las fibras (aprox. 30%), las células se compactan, debido a esto estas se ponen mas rígidas y fuertes, por lo tanto, una pérdida en el contenido de humedad en las piezas de madera, se ve acompañado de un incremento en la resistencia. Un aumento de la humedad sobre el punto de saturación de las fibras no tiene efecto sobre la resistencia. (CORMA, 2003).

2.4.3.4 Temperatura

En general las propiedades mecánicas de la madera decrecen cuando ella se calienta y aumenta cuando la madera se enfría. La relación entre la resistencia de la madera y la temperatura de exposición es aproximadamente lineal siempre que su contenido de humedad permanezca constante y la temperatura inferior a 150°C. Los efectos de la temperatura pueden clasificarse como:

Temporales: aquellos que existen solo a una temperatura en particular e independientes del periodo a que se expongan. (CORMA, 2003).

Permanentes: son los efectos que permanecen después que la madera ha sido llevada a una temperatura normal (aprox. 20°C) y depende de la duración de la exposición mas que del valor de temperatura involucrado.

2.4.3.5 Albura y duramen

La albura, aparte de su función de soporte, cumple la función de conducción. Por otra parte el duramen es el encargado de dar el soporte mecánico al árbol. Numerosas experiencias han demostrado que, en general, no existe una diferencia significativa entre las propiedades mecánicas que presentan tanto la albura como el duramen, existe si, algunas excepciones a esta regla, las cuales dependen fundamentalmente de la densidad de ambas zonas y de los defectos que presenten ellas. (CORMA, 2003).

2.5 VIGAS

Son elementos estructurales lineales (horizontales o inclinados), que salvan luces y que son solicitados por reacciones tales como: peso propio, sobrecarga de uso y montaje entre otros (CORMA, 2000).

Trabajan principalmente en flexión y corte en posición horizontal y pueden estar sometidas además a esfuerzos de tipo axial, tracción o compresión, dependiendo de las cargas que la soliciten y si presenta inclinación.

3 MATERIALES Y METODOS

De un lote inicial de 42 vigas de *Eucalyptus grandis*. Se realizó una selección de 34 vigas, descartando las vigas con mayor cantidad de defectos.

Las dimensiones iniciales a la salida del aserrado, correspondían a un largo de 2.40 metros, un ancho de 15 centímetros y un espesor entorno a los 5.5 centímetros.

Las vigas utilizadas provenían de un aserradero de la zona litoral del Uruguay y habían sido secadas en cámara hasta un 35 % de humedad en promedio, encontrándose una variación máxima y mínima en los contenidos de humedad desde 42 % hasta 31 % respectivamente.

Se contaba con la curva de secado inicial, construida a partir de 2 muestras tomadas durante el proceso.

El 50% de las vigas ya habían sido sometidas al proceso mecánico objeto de evaluación denominado “Kerfing” o “Ranurado” por su traducción al castellano.

Al momento de descartar las vigas mas dañadas, se tomó como prioridad obtener un número igual de vigas ranuradas y no ranuradas. De esta forma se comenzó el presente trabajo, utilizando un total de 34 vigas, 17 con el tratamiento de ranurado y 17 sin el tratamiento mencionado.

Se desconocen las características de la herramienta utilizada para realizar el ranurado pero se supone el uso de una sierra circular.

El cepillado de las vigas fue realizado en el Departamento de Carpintería de la Facultad de Agronomía, mediante el uso de un cepillo eléctrico de uso industrial.

Para la realización del re dimensionamiento de las vigas se utilizo una sierra del tipo Sin-Fin también perteneciente a la carpintería de la Facultad de Agronomía.

Antes de realizar el cepillado se realizó la clasificación visual de defectos previa, y luego del cepillado se repitió la clasificación visual antes de comenzar con las tareas de secado.

Para realizar el secado desde la humedad inicial mencionada hasta un 12 % de humedad final se utilizó un horno convencional marca Nardi, instalado en el Laboratorio de Procesos Físicos del Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Montevideo.

Características del horno convencional Nardi:

- Sistema de Calefacción eléctrica
- Ventilación forzada, con dos ventiladores eléctricos, de velocidad regulable y dirección reversible.
- Sistema de humidificación externo, con caldera anexa, de regulación manual.
- Controlador automático Nardi-Leonardo mediante PC, que brinda información de la temperatura y del contenido de humedad.
- Cámara de Secado con una altura de 1.50 metros, ancho de 2.0 metros y largo o profundidad de 3.0 metros.

El encastillado se realizó intercalando tablas tratadas y no tratadas en la construcción de manera de minimizar el efecto posición dentro del horno.

Figura No. 5: Foto del encastillado en horno



Se construyó un castillo de 11 camadas con 3 vigas cada una, utilizando 3 separadores por camada de sección cuadrangular, de unos 2.5 centímetros de lado contruidos en madera.

3.1 PROGRAMA DE SECADO

Partiendo de madera con un contenido de humedad cercano al 35% CH. Se utilizó un programa de secado basado en la experiencia de distintos trabajos de investigación al respecto.

En base a esta revisión se construye el programa influenciado por distintos autores. La Evolución del programa se resume en el Cuadro No. 5.

Cuadro No. 5: Programa Secado Utilizado

| CH final (%) | TBS (°C) | HR (%) | Duración (Hr) |
|------------------|----------|----------|---------------|
| 35-40 | 28-30 | 80 | |
| Vaporizado 1 | 45 | 100 | 1 |
| 30-35 | 35 | 75 | |
| 25-30 | 45 | 70 | |
| 20-25 | 55 | 55 | |
| Vaporizado 2 | 55 | 100 | 1 |
| 15-20 | 65 | 55 | |
| 15- hasta final | 70 | 45 | |
| Vaporizado Final | 70 | 100 | 1 |
| Enfriamiento | Ambiente | Ambiente | 24 |

Con este programa de secado se pretende alcanzar una humedad final del 12%, partiendo de un 35% de humedad, en un tiempo aproximado de entre 15 y 25 días, con una buena calidad de secado, sin defectos significativos y con una buena distribución de la humedad en las tablas.

Al llegar a la humedad final especificada, se programó la realización de un acondicionado final con temperaturas de 70°C y una humedad relativa próxima al 100% con la finalidad de homogeneizar la humedad en las tablas, recuperando parte del posible colapso producido en el proceso.

Las intervenciones de Vaporizado, tuvieron una duración aproximada de 1 hora cada una, acompañada de una reducción de la velocidad del aire dentro de la cámara, disminuyendo en estas intervenciones a 0.8 m/seg.


La velocidad del viento se mantuvo constante en el resto del programa, establecida en 1.0 metros por segundo.

3.2 EVALUACION VISUAL DE DEFECTOS

La evaluación de defectos se realizó en base a la Clasificación visual de defectos descrita por (Martins et al., 1999).

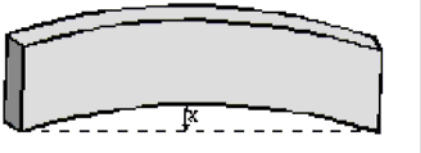
Cuadro No. 6: Clasificación visual de defectos.

Abarquillado



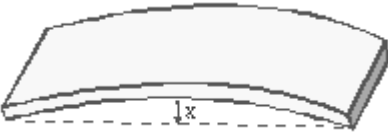
$X \leq 4,0\text{mm}$ No significativo
 $4,0 < X \leq 6,0$ Medio
 $X > 6,0$ Fuerte

Encorvadura




$X \leq 2,5\text{mm}$ No significativo
 $2,5 < X \leq 5$ Medio
 $X > 5$ 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

% Rajado

Rajado $\% = (R1 + R2 / L) \times 100$
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

Con el fin de conocer el efecto del Kerfing sobre la producción de defectos causados durante el proceso de secado se realizó una comparación y medición de los defectos antes de las distintas operaciones.

Se midieron los defectos antes del cepillado y re-dimensionamiento de las tablas, a continuación se compararon ambos lotes.

Luego del cepillado se repitió la operación midiendo ambos lotes nuevamente.

El cepillado corrigió defectos como el agrietado y rajado principalmente, además de mejorar la apariencia visual de las vigas.

Posteriormente al secado se volvieron a medir los defectos en todas las vigas de ambos lotes.

Para conocer y evaluar la incidencia del cepillado en la disminución de los defectos producidos, se utilizó la clasificación de (Martins et al 1999). Luego se calcularon los porcentajes de incidencia de cada defecto en el total de las tablas, cuantificando como afectadas las tablas que presentaran para cada defecto, una clasificación de incidencia de media o fuerte.

Las tablas que obtuvieron la calificaron de No Significativa se contabilizaron como tablas libres de el defecto evaluado.

Dicha modificación a la clasificación visual de defectos empleada se aplicó con la finalidad de simplificar la presentación de los resultados y obtener un valor más ilustrativo.

Para cuantificar el % de rajado se midieron grietas y rajaduras, clasificando a las vigas que tuvieran un % de rajado superior al 5% como vigas con presencia del defecto, simultáneamente se calculó el valor de % medio de rajado en cada tratamiento. De esta manera obtendremos el % de tablas que presentan un rajado superior al 5%, y el % medio de rajado de ese grupo de tablas.

La presencia de Encorvadura, Combadó y Torcedura se cuantificó en todas aquellas vigas que tuvieran una flecha superior 2.5 mm.

En el caso del Abarquillado se consideraron flechas superiores a los 4 mm.

3.3 DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO CORRIENTE

La densidad aparente corriente se define como el cociente entre el peso anhidro y el volumen a 12% CH. En este trabajo se estimó la densidad aparente corriente a partir del volumen a un CH promedio de 12.81 % .

Para la determinación de la densidad aparente corriente se utilizó la norma ASTM “American Society for Testing and Materials” Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials D 2395, Method A, modificada para el contenido de humedad final calculado.

Las probetas fueron pesadas (peso corriente), medidas en sus tres dimensiones para obtener el volumen al 12.81% de humedad y posteriormente secadas en estufa a $105 \pm 2^\circ$ C hasta peso constante para obtener el peso anhidro.

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{Pe Corriente} = \text{Peso anhidro (gr)} \div \text{Volumen al 12 \% humedad (cm}^3\text{)}$$

3.4 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD (MOE) Y MODULO DE ROTURA (MOR)

Los ensayos de flexión estática para determinar MOE y MOR se realizaron en una Prensa para ensayos de flexión de piezas de madera de construcción nacional, perteneciente al Laboratorio del Instituto de la Construcción de la Facultad de Arquitectura, Universidad de la Republica.

La prensa utilizada cuenta con un marco rígido para soportar la probeta y a la vez permitir su deformación sin restricciones, una cabeza de carga que reparte en dos puntos la fuerza aplicada y una viga de reacción que asegura rigidez al sistema. La probeta se apoya en rodillos que permiten su rotación alrededor de la reacción a medida que se va flexando la probeta.

Dos elementos de medición se encuentran instalados en la estructura, por un lado un calibre Digimatic Mitutoyo que mide la flecha o deformación en mm, y por otro un dinamómetro Dillon ubicado en una de las reacciones que mide la carga en Kg.

Ambos elementos de medición están conectados a un almacenador de registros, que almacena ambos datos cada 5 segundos, siendo este lapso de tiempo regulable. En forma adjunta a cada registro, brinda también la hora y fecha del registro, de esta manera al iniciar el ensayo de cada viga fue necesario registrar la hora y numeración de la viga.

Mediante un software específico, los datos del almacenador pueden ser enviados a un PC en formato de planilla electrónica para su procesamiento.

La curva de flexión para cada viga ensayada y el cálculo de MOE y MOR deben hacerse mediante trabajo de gabinete, con los datos registrados en el almacenador electrónico.

Los ensayos de flexión se realizaron tomando como base la Norma ASTM D 198 (1998), cuya filosofía es la realización de ensayos en probetas a tamaño de uso. Sobre una probeta simplemente apoyada con una luz igual a 18 veces la altura $\pm 3 H$, se aplica la carga en 2 puntos ubicados en el tercio central hasta la rotura, midiendo la deformación en el punto medio de la luz. La prensa utilizada permite una luz de 3000 mm quedando cada una de las cargas aplicadas a un máximo de 1000 mm del apoyo.

La luz utilizada en el ensayo fue de 2100 mm y la carga se aplicó en dos puntos, al tercio y dos tercios de la luz del ensayo, como se indica en la figura no. 6.

La carga se aplicó manualmente y no pudo ser regulado con precisión ya que el equipo utilizado no cuenta con la posibilidad de establecer velocidades de carga constantes.

Esta limitante del equipo, no permitió realizar el ensayo cumpliendo en todos sus términos las especificaciones de la mayoría de las normas técnicas que establecen incrementos de carga aplicada en forma constante y de igual magnitud.

3.4.1 Formulas Utilizadas

$$MOR = \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} \quad MOE = \frac{23Flel^3}{108bh^3 \cdot f}$$

Donde:

F = carga máxima soportada por la probeta, en Kg.

Fle = carga en el limite proporcional.

l = luz entre apoyos.

b = ancho de la probeta

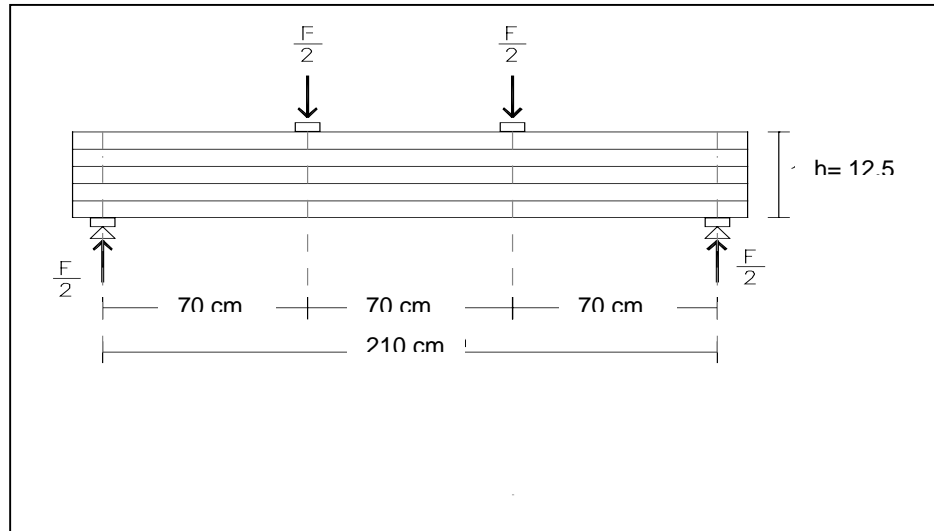
h = altura de la probeta.

f = deformación en el limite proporcional.

MOR= Módulo de Rotura.

MOE= Módulo de Elasticidad.

Figura No. 6: Esquema de Flexión estática



La distancia entre apoyos fue de 2100 mm, y la carga fue aplicada sobre 2 puntos.

3.5 OBTENCION DE PROBETAS.

Luego del ensayo mecánico, se extrajeron 24 muestras para estimar la distribución de la humedad en el perfil de las vigas. De esta manera se tomaron 12 muestras para cada tratamiento.

Sobre estas probetas se realizó la construcción del perfil de humedad de cada muestra dividiendo la misma en nueve probetas de igual tamaño como lo indican las figuras 7 y 8.

Figura No. 7 Distribución de las probetas en las vigas sin tratar

| | | |
|----|----|----|
| A1 | B1 | C1 |
| A2 | B2 | C2 |
| A3 | B3 | C3 |

Figura No. 8: Distribución de las probetas en las vigas tratadas con Kerfing.

| | | |
|----|----|----|
| A1 | B1 | C1 |
| A2 | B2 | C2 |
| A3 | B3 | C3 |

Las probetas pertenecientes a las Series “1” y “3” representan las caras superior e inferior respectivamente y las probetas de la Serie “2” al perfil central. Las Zonas en gris representan los cortes del tratamiento “Kerfing”.

Mediante un Diseño de Bloques Mixto se evaluarán los contenidos de humedad medios al finalizar el secado, agrupando los datos según su posición en la viga.

3.6 CALCULOS DE HUMEDAD FINAL

Se determino la humedad final, por el método de masa constante, secando las probetas de muestra en estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y registrando el peso de las probetas cada 4 horas.

Esta metodología se utilizó para estimar tanto la humedad final de las vigas como la humedad de las probetas construidas, para estimar perfiles de humedad.

Para realizar los cálculos se utilizaron los siguientes materiales:

- Balanza electrónica con una precisión de 0,1 g.
- Estufa de secado, regulable a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Recipiente de vidrio, provisto de tapa hermética.

Se calcula el promedio aritmético de los resultados obtenidos para las probetas individuales y el valor promedio del contenido de humedad de las probetas, o del lote.

Se considera masa constante cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas efectuadas a un intervalo de 2 h a 4 h, según la especie y el tamaño de la probeta, es igual o menor a 0,5% de la masa de la probeta. En general, es suficiente secar durante 24 h para lograr masa constante, con excepción de las especies cuya densidad es mayor de 0,65 g/cm³ que pueden requerir un tiempo mayor.

Enfriar la probeta hasta temperatura ambiente en un desecador y pesar rápidamente para evitar variaciones mayores a 0,1% en el contenido de humedad. La precisión de la pesada debe ser de 0,1 g.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

Se presentan los datos resumidos de manera de expresar en forma mas clara los resultados obtenidos.

La información completa será incluida en el capítulo Anexos.

Para el procesamiento de los datos se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

- a) Análisis de Varianza y prueba de diferencias mínimas significativas mediante prueba de Tukey para comparar valores obtenidos de las variables, MOE, MOR, Densidad corriente al 12% de Humedad y contenido final de humedad de los tratamientos evaluados.
- b) Prueba de Fisher para cada tratamiento, con un diseño de bloques mixto para comparar los perfiles de humedad, correspondientes a la ubicación de las probetas dentro de las vigas ensayadas. Tomándose a cada perfil como un tratamiento diferencial y a cada viga como un bloque.
- c) La evaluación visual de defectos se presenta en forma gráfica evaluando % de incidencia según tratamiento.

4.1 CONTENIDOS DE HUMEDAD FINAL

Cuadro No. 7: Contenidos de Humedad final según probetas

| PROBETA | HUMEDAD % |
|-------------|-----------|
| Kerfing P1 | 12.69 |
| Kerfing P2 | 13.22 |
| Kerfing P3 | 13.19 |
| Kerfing P4 | 13.18 |
| Kerfing 08 | 12.51 |
| Kerfing 13 | 12.40 |
| Testigo16 | 12.54 |
| Testigo17 | 12.53 |
| Testigo P1 | 13.13 |
| Testigo P2 | 12.56 |
| Testigo P3 | 12.98 |
| Testigo P4 | 12.61 |
| CH PROMEDIO | 12.80 |

El contenido final de humedad se obtuvo en primera instancia por mediciones de Xilohigrómetro que dispone el equipo de secado.

Luego en laboratorio se determinó el % de humedad por el método de masa constante, realizando pesos sucesivos en el transcurso del secado a estufa, para dicha estimación se tomaron 12 muestras, representando 6 a cada tratamiento como lo indica el cuadro No. 7

Cuadro No. 8: Análisis de Varianza-Variable Humedad Final

| HUMEDAD | | | | | |
|---------|------|----|------|------|--------|
| F.V | SC | Gl | CM | F | Pvalor |
| Modelo | 0.06 | 1 | 0.06 | 0.54 | 0.4802 |
| T | 0.06 | 1 | 0.06 | 0.54 | 0.4802 |
| Error | 1.05 | 10 | 0.10 | | |
| Total | 1.10 | 11 | | | |

Cuadro No. 9: Test de Tukey-variable Humedad Final

Error: 0.1048 gl: 10 Alfa=0.05 DMS= 0.41654

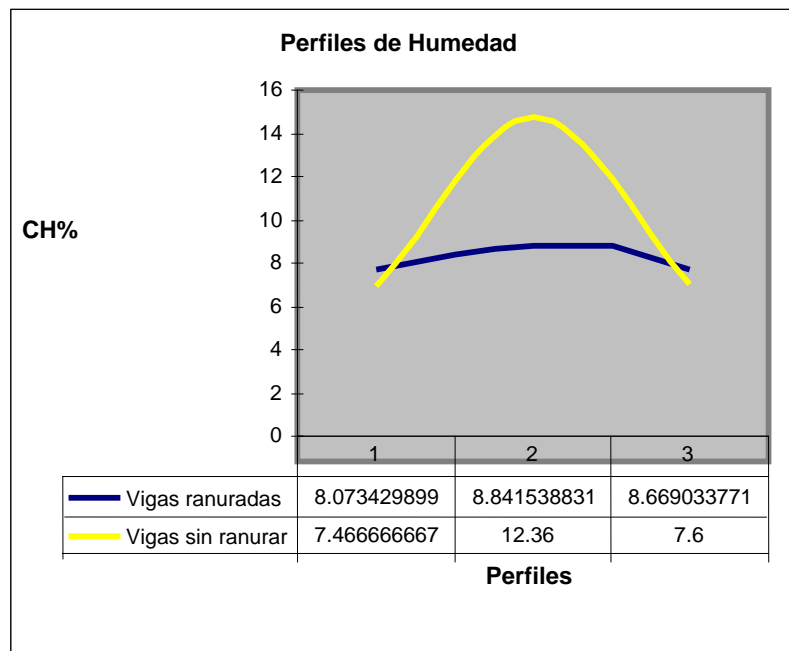
| T | Medias | N | |
|------------|--------|---|---|
| Tratadas | 13.87 | 6 | A |
| Sin tratar | 12.73 | 6 | A |

La evaluación estadística de los valores de humedad obtenidos, demostraron la no existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Para estudiar en detalle la distribución de la humedad dentro de las vigas ensayadas se realizó un estudio mas detallado de los contenidos de humedad, mediante la construcción de probetas pequeñas.

4.1.2 Distribución final de la humedad

Figura No. 8: Grafico distribución de la humedad según perfil de la pieza



Las zonas 1 y 3 representan las caras superior e inferior respectivamente, mientras que la zona 2 representa la sección central de la pieza.

El tratamiento de ranurado, redundó en una distribución mas homogénea de la humedad dentro de las piezas secadas, no existiendo diferencias entre la humedad final del centro y las paredes superficiales de la pieza.

Para el caso de las vigas No Tratadas con el ranurado se evidencian diferencias estadísticas significativas entre los perfiles superficiales (1 y 3) en relación al perfil central (2). Podemos concluir entonces que existe un efecto del tratamiento mecánico de ranurado sobre la distribución final de la humedad en las piezas.

Cuadro No. 10: Medias ajustadas y Errores Estándares “Fisher”

Vigas con Ranurado (Alfa=0.05)

| Tratamiento | Media | E.E | |
|--------------------|--------------|------------|---|
| 2-Central | 8.37 | 0.23 | A |
| 1-Superior | 8.30 | 0.23 | A |
| 3-Inferior | 8.01 | 0.23 | A |

Cuadro No. 11: Medias ajustadas y errores estándares “Fisher”

Vigas Sin Ranurar (Alfa=0.05)

| Tratamiento | Media | E.E | |
|--------------------|--------------|------------|---|
| 2-Central | 12.36 | 1.00 | A |
| 1-Superior | 7.76 | 1.00 | B |
| 3-Inferior | 7.47 | 1.00 | B |

La importancia de las diferencias de humedad encontradas radica en que ambos tratamientos fueron sometidos durante el secado a periodos de vaporización, según Ferrando y Olivera (2004), este efecto de vaporizado provoca una distribución de humedad homogénea dentro de las piezas, no obstante el tratamiento de ranurado redundó en una distribución mas homogénea aun al compararla con las vigas sin tratar.

Se concluye que el vaporizado y el ranurado provocaron un efecto acumulativo redundando en un secado más homogéneo en toda la pieza.

4.2 ANALISIS DEL MOE Y MOR SEGÚN TRATAMIENTO

Cuadro No. 12: Valores de MOE Y MOR promedio según tratamiento

| | Densidad | M.O.E | M.O.E | M.O.E | M.O.R | M.O.R | M.O.R |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Promedio | Máximo | Mínimo | Promedio | Máximo | Mínimo | Promedio |
| | Ton/m ³ | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² |
| Tablas Ranuradas | 0.58500 | 18846 | 6780 | 11414 | 101.74 | 47.05 | 65.64 |
| Tablas Sin Ranurar | 0.56300 | 21652 | 2988 | 11209 | 94.00 | 51.00 | 68.98 |

4.2.1 Resultados de MOE y MOR

Cuadro No. 13: Comparación de MOE entre ambos tratamientos

| MOE (MPa) | | |
|--------------|--------------|--------------|
| | RANURADAS | SIN RANURAR |
| N | 17 | 17 |
| MEDIA | 11414 | 11209 |
| D. STD | 3308 | 4782 |
| C.V (%) | 28.98 | 42.6 |

Cuadro No. 14: Análisis de la Varianza-Variable MOE

| MOE | | | | | |
|--------|--------------|----|-------------|------|--------|
| F.V | SC | GI | CM | F | Pvalor |
| Modelo | 1962627.6 | 1 | 1961617.6 | 0.11 | 0.7414 |
| T | 1962627.6 | 1 | 1961617.6 | 0.11 | 0.7414 |
| Error | 440691606.3 | 32 | 17627664.25 | | |
| Total | 442654233.88 | 33 | | | |

Se concluye que para ambos tratamientos, no existen diferencias significativas en los valores medios de Modulo de Elasticidad con una confianza del 95%.

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos encontrados en la bibliografía para vigas de tamaño estructural. En ese sentido Pérez del Castillo (2001), trabajando con vigas de calidad comercial obtuvo valores entre 11.200 y 12.600 MPa.

O’neill et al. (2005) encontraron valores de MOE promedio de 11628 MPa trabajando con probetas libres de defectos y de tamaño estructural, conforme con la norma ASTM D 198-98.

Cuadro No. 15: Comparación de MOR entre ambos tratamientos

| MOR (MPa) | | |
|-----------|-----------|-------------|
| | RANURADAS | SIN RANURAR |
| N | 17 | 17 |
| MEDIA | 65.64 | 68.98 |
| D. STD | 13.26 | 18.37 |
| C.V (%) | 20.21 | 26.63 |

Cuadro No. 16: Análisis de la Varianza-Variable MOR

| MOR | | | | | |
|--------|---------|----|--------|------|--------|
| F.V | SC | Gl | CM | F | Pvalor |
| Modelo | 6.27 | 1 | 6.27 | 0.02 | 0.879 |
| T | 6.27 | 1 | 6.27 | 0.02 | 0.879 |
| Error | 6661.17 | 32 | 266.45 | | |
| Total | 6667.45 | 33 | | | |

Se realizaron los análisis estadísticos de los resultados obtenidos para los ensayos mecánicos, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos para las dos características evaluadas.

La resistencia mecánica de ambos tratamientos arrojó valores que pueden considerarse iguales con una confianza de 95 %, destacándose la gran variabilidad que presentan los parámetros evaluados.

Dichos resultados pueden considerarse acordes, si tomamos como referencia valores máximos de 72.5 MPa, reportados por O'neill et al (2005), para probetas libres de defectos, y el reporte de Pérez del Castillo (2001), trabajando con vigas de calidad comercial quien encontró valores promedios de MOR de 54 MPa aplicando la norma ASTM D 198-98.

Se puede concluir entonces que el tratamiento del ranurado no tiene en principio un efecto negativo sobre las propiedades mecánicas evaluadas, descartando que exista una reducción en la resistencia debido a la realización de los cortes.

Se presentan a modo de resumen 2 curvas de Carga y deformación representando a los 2 tratamientos estudiados.

Figura No. 10: Curva de Carga Vs. Deformación de una viga ranurada

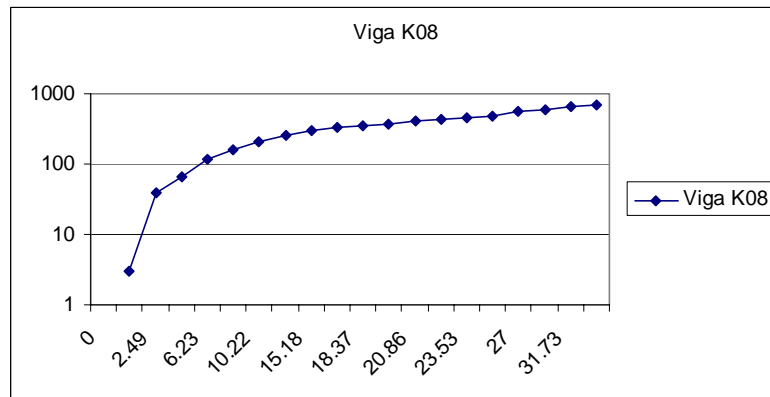
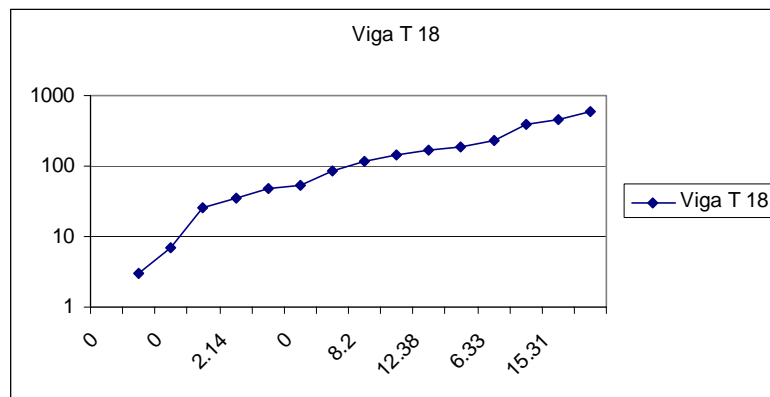


Figura No. 11: Curva de Carga Vs. Deformación de una viga sin ranurar

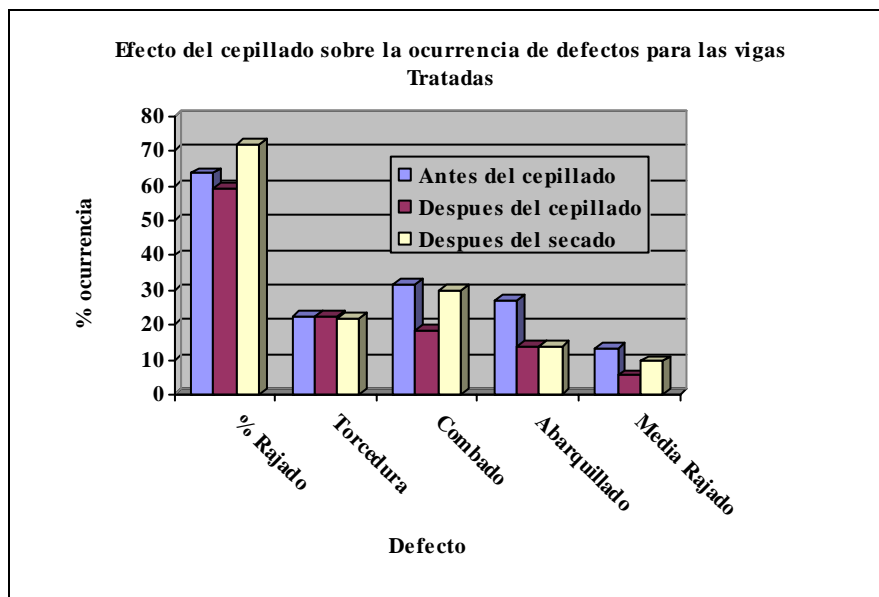


4.3 CLASIFICACION VISUAL DE DEFECTOS

Cuadro No. 17: Resultados clasificación visual de defectos vigas ranuradas.

| VIGAS RANURADAS | | | | | |
|---------------------|------|---------------------|------|------------------|-------|
| ANTES DEL CEPILLADO | | LUEGO DEL CEPILLADO | | LUEGO DEL SECADO | |
| % INCIDENCIA | % | % INCIDENCIA | % | % INCIDENCIA | % |
| Rajado | 63.6 | Rajado | 59.1 | Rajado medio | 72.73 |
| Torcedura | 22.7 | Torcedura | 22.7 | Torcedura | 22.7 |
| Combado | 31.8 | Combado | 18.2 | Combado | 29.8 |
| Abarquillado | 27.2 | Abarquillado | 13.6 | Abarquillado | 13.74 |
| Media rajado | 13.4 | media rajado | 5.5 | media rajado | 9.5 |

Figura No. 12: Grafico efecto del cepillado sobre los defectos, para las vigas ranuradas



Se observa en la figura 12 que a nivel de las vigas que recibieron el ranurado, el efecto mas evidente del cepillado sobre la ocurrencia de defectos se evidenció sobre el abarquillado y el combado, registrando para ambos casos reducciones del orden de 13.6% por efecto directo del cepillado.

En cuanto al % de vigas que presentaban rajado de cabezas, se redujo su numero en un 4.5%, pero con una reducción en la media de rajado sobre el largo total de la viga de 3.9%.

Exceptuando las vigas que tenían torceduras severas, para el resto de los defectos evaluados, se registran reducciones en la ocurrencia de los mismos debidos al cepillado.

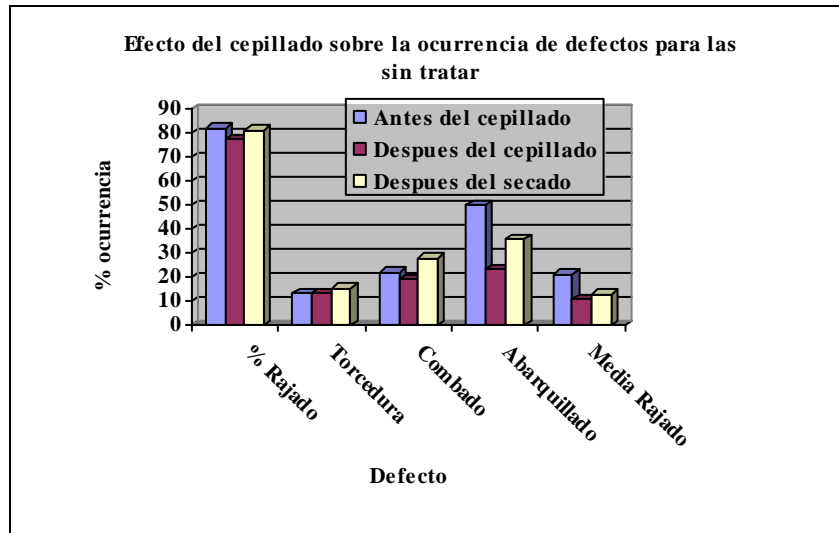
Cabe resaltar que antes del cepillado las maderas habían sido sometidas a un proceso de Pre-Secado, por lo que al momento del cepillado ya presentaban defectos producidos durante el mencionado proceso.

Si bien el cepillado tiene una clara influencia positiva en cuanto a la reducción de ocurrencia de defectos, luego de finalizar el secado, los defectos vuelven a incrementarse aunque en menor medida.

Cuadro No. 18: Resultados clasificación visual de defectos de vigas sin ranurar

| VIGAS SIN RANURAR | | | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|-------------------------|-------------|
| ANTES DEL CEPILLADO | | LUEGO DEL CEPILLADO | | LUEGO DEL SECADO | |
| % INCIDENCIA | % | % INCIDENCIA | % | % INCIDENCIA | % |
| Rajado medio | 81.81 | Rajado medio | 77.27 | Rajado medio | 81.8 |
| Torcedura | 13.6 | Torcedura | 13.6 | Torcedura | 15.7 |
| Combado | 27.27 | Combado | 19.2 | Combado | 28 |
| Abarquillado | 50 | Abarquillado | 23.4 | Abarquillado | 36.4 |
| media rajado | 21.3 | media rajado | 11.3 | media rajado | 13.2 |

Figura No.13: Gráfico efecto del cepillado sobre la ocurrencia de defectos en vigas sin ranurar.



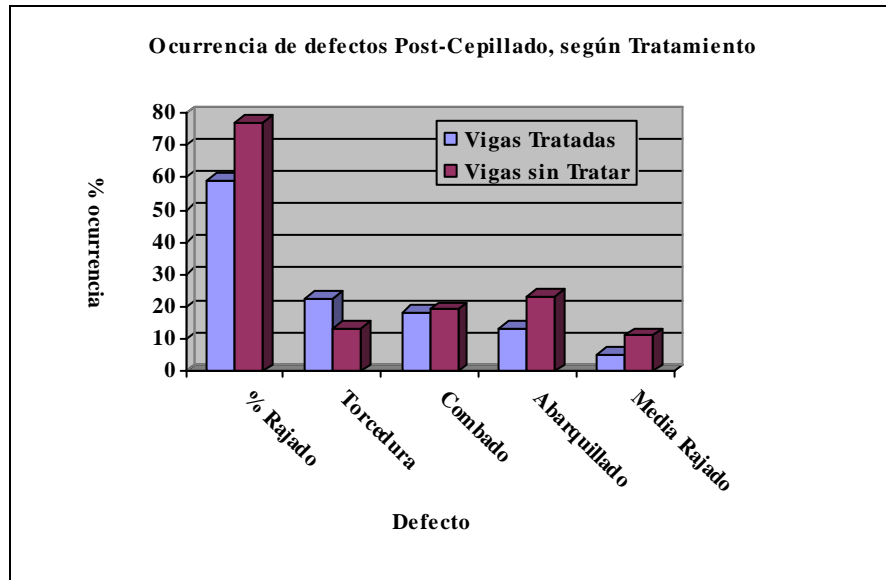
En las vigas sin tratar la reducción más pronunciada se registró para el abarquillado, alcanzando una disminución de 26.6 %.

La incidencia del cepillado sobre el resto de los defectos evaluados es similar en tendencia para ambos tratamientos pero de menor magnitud en las vigas que no fueron ranuradas.

Se resalta que el % de ocurrencia de rajado de cabezas es mayor en las vigas sin tratar, por lo que el ranurado podría estar evitando la ocurrencia del mencionado defecto.

Al igual que en las maderas tratadas, luego de finalizado el secado se incrementa la ocurrencia de defectos. Dicho incremento permite concluir que el cepillado puede mejorar el aspecto visual de las tablas pero no detener o enmascarar por completo los fenómenos que provocan los defectos.

Figura No. 14: Comparación ocurrencia de defectos según tratamiento



Para el caso de las vigas sin tratar la producción de defectos fue superior en todos los casos excepto para el defecto de torcedura donde las vigas tratadas presentan una incidencia mayor.

En los 2 lotes evaluados, se evidencia una disminución en la incidencia de defectos luego del cepillado, siendo más pronunciada en el lote de vigas ranuradas. Por esto ambos tratamientos mecánicos (cepillado y ranurado) se consideran independientes, pero con efectos similares, ya que ambos redundan en la menor ocurrencia de defectos.

4.4 PESO ESPECÍFICO CORRIENTE

Cuadro No. 19: Peso específico de las tablas no ranuradas.

| MUESTRA | PESO KG | PESO TON | LARGO (m) | ANCHO (m) | ESPELOR (m) | VOLUMEN (m3) | DENSIDAD (ton/m3) |
|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-------------------|
| PT1 | 1.7 | 0.0017 | 0.589 | 0.125 | 0.045 | 0.003313 | 0.513111 |
| PT2 | 1.74 | 0.00174 | 0.587 | 0.125 | 0.045 | 0.003302 | 0.526973 |
| PT3 | 2.05 | 0.00205 | 0.585 | 0.125 | 0.045 | 0.003291 | 0.622982 |
| PT4 | 1.59 | 0.00159 | 0.595 | 0.125 | 0.045 | 0.003347 | 0.47507 |
| PT5 | 1.75 | 0.00175 | 0.58 | 0.125 | 0.045 | 0.003263 | 0.536398 |
| PT6 | 2.075 | 0.002075 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.625235 |
| T07 | 7.805 | 0.007805 | 2.26 | 0.123 | 0.042 | 0.011675 | 0.668513 |
| T20 | 6.94 | 0.00694 | 2.303 | 0.125 | 0.045 | 0.012954 | 0.535726 |
| MEDIA | | | | | | | 0.563001 |
| VAR | | | | | | | 0.003947 |
| D.std | | | | | | | 0.067161 |
| CV % | | | | | | | 0.701024 |

Cuadro No. 20: Peso específico de las tablas ranuradas

| MUESTRA | PESO KG | PESO TON | LARGO (m) | ANCHO (m) | ESPELOR (m) | VOLUMEN (m3) | DENSIDAD (ton/m3) |
|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-------------------|
| PK1 | 1.805 | 0.001805 | 0.585 | 0.125 | 0.045 | 0.003291 | 0.548528 |
| PK2 | 1.89 | 0.00189 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.569492 |
| PK3 | 2.08 | 0.00208 | 0.594 | 0.125 | 0.045 | 0.003341 | 0.622522 |
| PK4 | 1.615 | 0.001615 | 0.593 | 0.125 | 0.045 | 0.003336 | 0.484167 |
| PK5 | 1.73 | 0.00173 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.521281 |
| PK6 | 2.09 | 0.00209 | 0.58 | 0.125 | 0.045 | 0.003263 | 0.640613 |
| K10 | 7.13 | 0.00713 | 2.406 | 0.124 | 0.045 | 0.013425 | 0.53108 |
| K03 | 9.38 | 0.00938 | 2.365 | 0.121 | 0.043 | 0.012305 | 0.762286 |
| MEDIA | | | | | | | 0.584996 |
| VAR | | | | | | | 0.00683 |
| D.std | | | | | | | 0.088347 |
| CV % | | | | | | | 1.167455 |

Cuadro No. 21: Análisis de la Varianza-Densidad

| DENSIDAD | | | | | |
|----------|--------|----|--------|------|--------|
| F.V | SC | GI | CM | F | Pvalor |
| Modelo | 1.9e-3 | 1 | 1.9e-3 | 0.31 | 0.5839 |
| T | 1.9e-3 | 1 | 1.9e-3 | 0.31 | 0.5839 |
| Error | 0.09 | 14 | 0.01 | | |
| Total | 0.09 | 15 | | | |

Cuadro No. 22: Test de Tukey-Variable Densidad

Error: 0.0062 gl: 14 Alfa=0.05 DMS=0.08415

| T | Medias | N | |
|-------------|--------|---|---|
| Ranuradas | 0.5849 | 8 | A |
| Sin Ranurar | 0.5630 | 8 | A |

No existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de densidad calculados para los 2 tratamientos. Se puede concluir que el tratamiento del ranurado no tuvo ningún efecto sobre esta variable.

Los resultados están dentro de lo esperado puesto que la densidad esta determinada por características intrínsecas de la madera, como tipo celular, espesor de las paredes celulares, etc. Estas características no se modifican con la práctica del tratamiento mecánico evaluado, por lo tanto es dable no encontrar diferencias en ese sentido.

Por otra parte muchos autores definen una alta correlación entre los valores de Densidad y las propiedades mecánicas, explicando también las similitudes en cuanto a los registros de MOE y MOR entre tratamientos.

Cuadro No. 23: Peso Específico Promedio para ambos lotes

| MUESTRA | PESO KG | PESO TON | LARGO (m) | ANCHO (m) | ESPESOR (m) | VOLUMEN (m3) | DENSIDAD (ton/m3) |
|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-------------------|
| PT1 | 1.7 | 0.0017 | 0.589 | 0.125 | 0.045 | 0.003313 | 0.513111 |
| PT2 | 1.74 | 0.00174 | 0.587 | 0.125 | 0.045 | 0.003302 | 0.526973 |
| PT3 | 2.05 | 0.00205 | 0.585 | 0.125 | 0.045 | 0.003291 | 0.622982 |
| PT4 | 1.59 | 0.00159 | 0.595 | 0.125 | 0.045 | 0.003347 | 0.47507 |
| PT5 | 1.75 | 0.00175 | 0.58 | 0.125 | 0.045 | 0.003263 | 0.536398 |
| PT6 | 2.075 | 0.002075 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.625235 |
| PT7 | 1.805 | 0.001805 | 0.585 | 0.125 | 0.045 | 0.003291 | 0.548528 |
| PT8 | 1.89 | 0.00189 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.569492 |
| PT9 | 2.08 | 0.00208 | 0.594 | 0.125 | 0.045 | 0.003341 | 0.622522 |
| PT10 | 1.615 | 0.001615 | 0.593 | 0.125 | 0.045 | 0.003336 | 0.484167 |
| PT11 | 1.73 | 0.00173 | 0.59 | 0.125 | 0.045 | 0.003319 | 0.521281 |
| PT12 | 2.09 | 0.00209 | 0.58 | 0.125 | 0.045 | 0.003263 | 0.640613 |
| PT13 | 7.13 | 0.00713 | 2.406 | 0.124 | 0.045 | 0.013425 | 0.53108 |
| PT14 | 9.38 | 0.00938 | 2.365 | 0.121 | 0.043 | 0.012305 | 0.762286 |
| PT15 | 7.805 | 0.007805 | 2.26 | 0.123 | 0.042 | 0.011675 | 0.668513 |
| PT16 | 6.94 | 0.00694 | 2.303 | 0.125 | 0.045 | 0.012954 | 0.535726 |
| | | | | | | MEDIA | 0.573999 |
| | | | | | | VAR | 0.005509 |
| | | | | | | D.std | 0.076658 |
| | | | | | | CV | 0.009598 |

A pesar de no conocer la edad de los individuos que dieron origen a las vigas utilizadas en el presente estudio, se puede concluir que los valores de densidad medios obtenidos, se encuentran dentro del rango de valores reportados en la literatura para esta especie.

5 CONCLUSIONES

El cepillado de las vigas redujo la ocurrencia de defectos en ambos tratamientos, por lo que se lo considera una practica favorable, a realizar entre el pre secado y el secado final. Los defectos de abarquillado y rajado fueron los que se vieron mas influenciados positivamente por el tratamiento de cepillado.

El tratamiento del ranurado resultó favorable para reducir el rajado y agrietado superficial, así como el abarquillado.

Para los defectos, rajado, combado y abarquillado, se evidencia una reducción asociada con el cepillado realizado luego del pre secado, con reaparición de defectos luego del secado, pero de menor magnitud.

La distribución de la humedad dentro de las piezas resultó más uniforme en las vigas tratadas con el ranurado respecto de las vigas no tratadas. Encontrándose diferencias significativas en la distribución de la humedad en el perfil de las vigas no tratadas, mientras que en las vigas ranuradas la humedad del centro de la viga es estadísticamente igual a la humedad en las caras superficiales.

No se verificaron diferencias significativas entre los tratamientos, respecto de las propiedades mecánicas ensayadas, Modulo de Rotura y Modulo de Elasticidad.

La densidad de las vigas fue estadísticamente igual en ambos tratamientos, por lo que el ranurado no afectaría esta característica.

En base a los datos obtenidos en el pre secado, que no formaron parte del presente trabajo y por tanto son considerados como tendencias, se concluye que las tasas de secado al inicio del proceso fueron más elevadas en las vigas tratadas, pero luego de perder un tercio de la humedad las curvas de secado se igualaron. En base a estos datos se puede esperar una tendencia a contar con tasas de secado superiores en las vigas tratadas mientras se elimina agua por encima del punto de saturación de las fibras, para luego igualarse al eliminar el agua higroscópica

RESUMEN

Se evaluaron los tratamientos mecánicos de ranurado “Kerfing” y de cepillado y su efecto sobre la calidad del secado.

Se cuantificó la ocurrencia de defectos, densidad aparente, y una evaluación de las propiedades mecánicas de la madera, calculando los valores de Módulo de Elasticidad y Módulo de Rotura.

Por otra parte se estableció la distribución final de la humedad dentro de las piezas secadas, y se compararon los distintos tratamientos.

Este trabajo tuvo como finalidad evaluar el tratamiento de ranurado y sus impactos en los procesos que ocurren durante el secado.

Palabras claves: *Eucalyptus grandis*; secado en horno convencional; ranurado; cepillado; MOE; MOR; humedad; defectos.

SUMMARY

The mechanical treatments of the “Kerfing” grooving and the wood shaving were evaluated and its effects on the quality of the drying process.

The occurrence of imperfections, the apparent density and an evaluation of the mechanical properties of the wood were quantified, calculating the Breakage Modulus and the Elasticity Modulus values.

On the other hand the final distribution of moisture inside the dried pieces was established and the different treatments were compared.

The purpose of this study was to evaluate the grooving treatment and its infringements during the drying process.

Key words: Eucalyptus grandis, drying in conventional oven, grooving, wood shaving; MOE; MOR; moisture, imperfections.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ACHUGAR, L.A.; SCAGLIONE, G. 2003. Evaluación de propiedades de la madera de clones de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 p.
2. BERNUY, P.; MOFFETT, H. 2003. Estudio teórico experimental de vigas cajón y doble T de madera laminada y tableros OSB. Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Ciudad, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles. s.p.
3. BIANCHI, B.; DIBARBOURE, H. 1993; Selección de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) por peso específico aparente básico y evaluación de tensiones de Crecimiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay, Facultad de Agronomía 59 p.
4. BOTHING, S. 2001. Densidad, dureza y color de *Eucalyptus grandis* de Uruguay. Montevideo, LATU-JICA. 23 p. (Informe de Investigación no. 5)
5. BUZZO, R.M.; MARTINEZ HAEDO, J. F.; SCARONE, P. 1997. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Populus deltoides* cv “Harvard” (ex I-63/51). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 78 p.
6. CABALLERO, E.; SAN MARTIN, H. 2004 Vigas sección cajón de alma discontinua compuestas de madera aserrada y tablero OSB. Tesis Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles. s.p.
7. CORPORACION CHILENA DE LA MADERA (CORMA) 2000. Construcción de viviendas en madera. Santiago, Chile. pp 3-7.
8. _____.2003 Entramado horizontal; construcción de viviendas en madera. (en línea). Santiago, Chile. s.p. Consultado may. 2008.Disponible en <http://www.corma.cl>.
9. CORONEL, E. 2004. Fundamento de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales. 187 p.
10. DOLDAN, J. 2003. Indicadores de calidad de madera de *Eucalyptus grandis* de Río Negro, Uruguay. Montevideo, LATU-JICA. 40 p. (Informe de Investigación no. 9).

11. Di RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. 2008. InfoStat, versión 2008. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. 336 p.
12. FERNANDEZ, E.M. 2004. Selección de clones de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) por crecimiento y propiedades de la madera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 71 p.
13. FERRANDO, S.; OLIVERA, E. A. 2004. Secado de madera de *Eucalyptus camaldulensis* Denh. en horno convencional. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 p.
14. GALLARDO, S. E. 2006. Comportamiento mecánico de vigas doble T con un alma de OSB y adhesivo estructural. Título de Ingeniero en Maderas. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 34 p.
15. GARRIDO, A.; SOTO, C. 2006. Estudio teórico experimental de vigas compuestas tipo doble T de madera microlaminada y tableros OSB. Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Ciudad, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles. 43 p.
16. GUERRERO, E.; HERNANDEZ, J. 1994. Estudio teórico experimental de vigas sección doble T y cajón de madera aserrada y contrachapado. Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles. 61 p.
17. INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS 1985. Maderas aserradas y cepilladas. Definiciones de los defectos. Norma 753. s.p.
18. JANKOWSKY, I.P. ; DUCATTI, M.A. ; ANDRADE, A. 1998. Avaliação da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, ESALQ. Departamento de Ciências Florestais. 16 p. (Relatório Técnico)
19. _____.; SANTOS, G. R. V.; BALTIERI, G. 2000. Avaliação comparativa da secagem da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. In: Workshop sobre Secagem de Madeira Serrada (3th., 2000, Piracicaba). ESALQ/LCF/IPEF. s.p. Projeto de pesquisa cooperativa.
20. _____.; VASCONCELOS DOS SANTOS, G. R.; ANDRADE, A. 2003. Secagem da madeira serrada de eucalipto. Circular Técnica. IPEF. no. 199: 1- 11.

21. LOUSIANA PACIFIC. 2005. Características técnicas OSB. (en línea). Santiago, Chile. s.p. Consultado may. 2008. Disponible en <http://www.lpchile.cl>.
22. MORALES, M.; YAGUI, J. 1994. Estudio teórico experimental de vigas; madera aserrada- contrachapado de sección cajón y doble T. Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles. p.16.
23. NAGAO, H; NAKAI, T; TANAKA, T./ Non destructive evaluation of bending and tensile strength by longitudinal and transverse vibration of lumber, Eight International Nondestructive Testing of Wood Symposium, Proceedings, Washington State Univ, and USDA Forest Products Lab., 1991.
24. OLASO MARI, E. 2002. Estudio de la variación en las propiedades físicas y mecánicas de *E. grandis* (HILL) ex Maiden del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp 22-37.
25. _____.; TARIGO, F.; TRAMBAUER, C. 2003. Propiedades mecánicas de *Pinus taeda* del litoral de Uruguay. Montevideo, GT3. 44 p. (Informe no. 3)
26. _____.; _____.; IRAOLA, P. 2004. Propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* del Norte de Uruguay. Montevideo, GT2. 49 p. (Informe no. 4)
27. _____.; _____.. 2005. Propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* H. del Norte del Uruguay. Montevideo, GT2. 54 p. (Informe no. 5)
28. _____.; _____.. 2006. Propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* del Centro del Uruguay. Montevideo, GT2. 59 p. (Informe no. 6).
29. PEREZ DEL CASTILLO A., 2001. Propiedades mecánicas y calidad de madera de *Eucalyptus grandis* del Norte de Uruguay, LATU-JICA. 40 p. (Informe de Investigación no. 4).
30. _____.; ONO, A. 2003a. Diferentes etapas del proceso de secado. (en línea). Montevideo, LATU. p. Consultado ago. 2008. Disponible en <http://www.latu.org.uy>
31. _____.; VENTURINO, A. 2003b. Proyecto de tecnología de ensayos de productos forestales. LATU-JICA (1998-2003)/ Inspección Visual de Tablas de Tamaño

Real de *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* de diferentes sitios del Uruguay. Montevideo, LATU/JICA. 28 p. (Informe de Investigación no. 15).

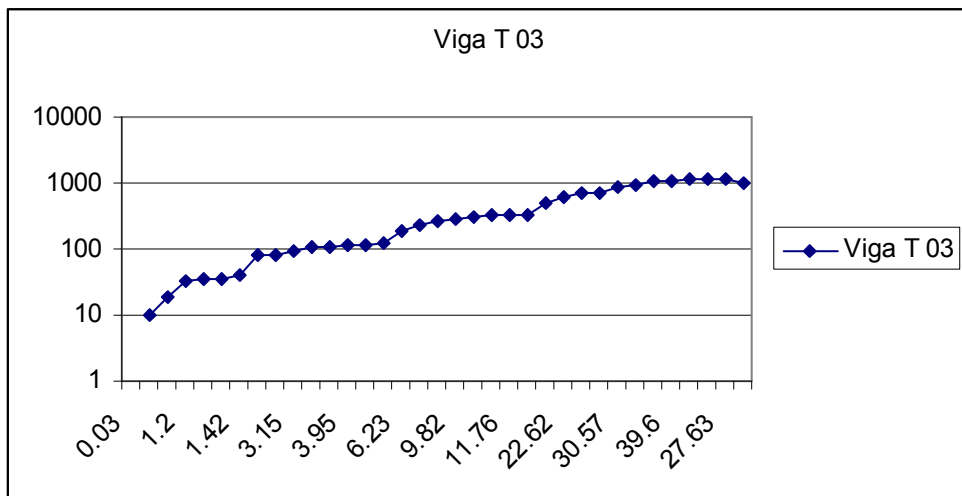
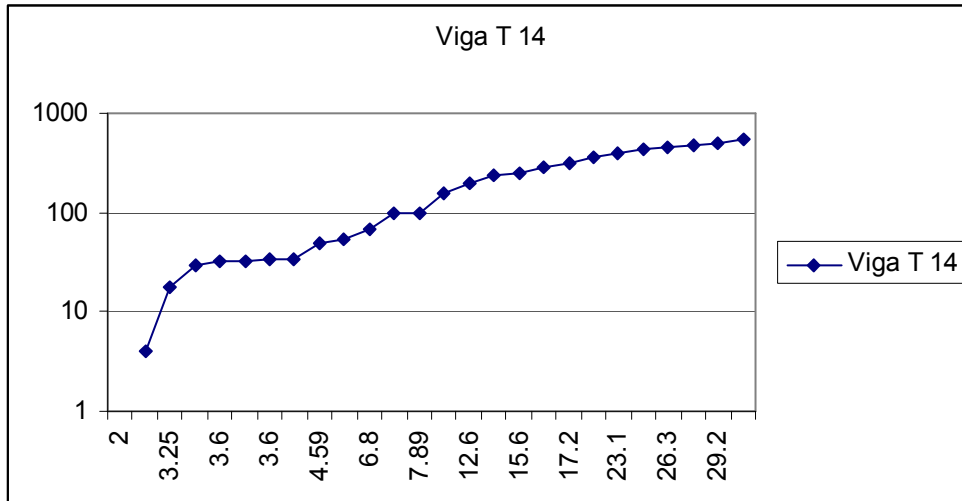
32. _____.; _____. 2003c. Resumen de propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis*, *Pino elliottii* y *Pinus taeda* de distintas zonas del Uruguay. Montevideo, LATU-JICA. 12 p. (Informe de Investigación no.14).
33. PÉREZ FAVARO, A.; DE CASTRO, R.; OHTA, S. 2000. Ensayos de propiedades mecánicas de *Pinus taeda* por seis métodos no destructivos. Montevideo, LATU7JICA. p. (Informe de Investigación no. 1).
34. PITER, J.C. 2003. Clasificación por resistencia de la madera aserrada, como material estructural. Desarrollo de un método para el *Eucalyptus grandis* en Argentina. Tesis Doctor en Ingeniería. La Plata, Argentina. Facultad de Ingeniería. 206 p.
35. SENISZYN P. 1999. La madera, aspectos estructural, cualitativo y utilitario. Montevideo, Facultad de Agronomía. 99 p.
36. TOUZA, M. C.; SAAVEDRA, F. P. 2008. Una propuesta industrial de secado de madera de Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) de Galicia. (en línea). Consultado 12 set. 2008. Disponible en <http://www.cismadeira.com>
37. TUSET, R.; DURÁN, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. s.p.
38. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA. 1994. Normas para la redacción de referencias bibliográficas. Montevideo, Uruguay. 94 p.
39. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION GENERAL FORESTAL. 2005. Boletín estadístico; diciembre de 2005. (en línea). Montevideo. 44 p. Consultado dic. 2007. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/forestal/DGF>
40. 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.
41. _____. 1995. Drying eucalypts for quality; material characteristics, pre drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In:

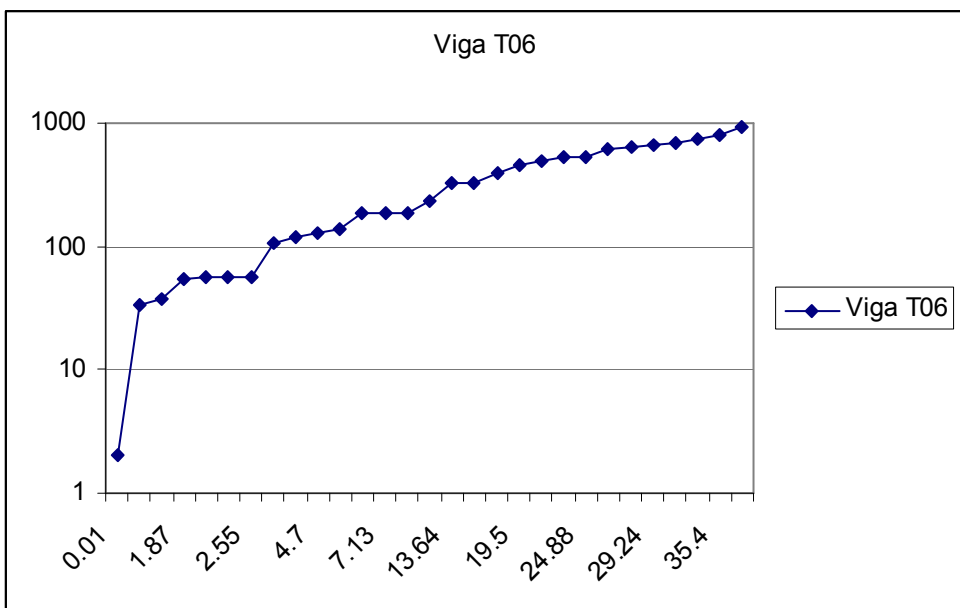
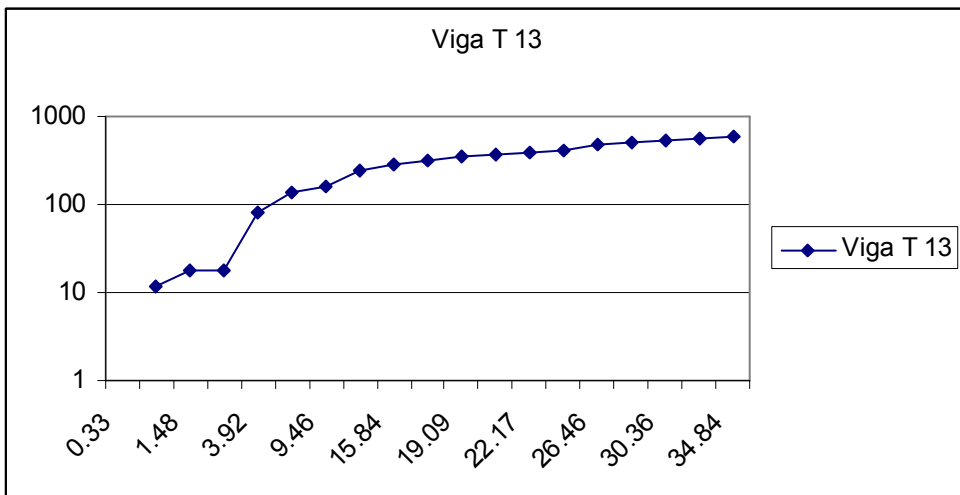
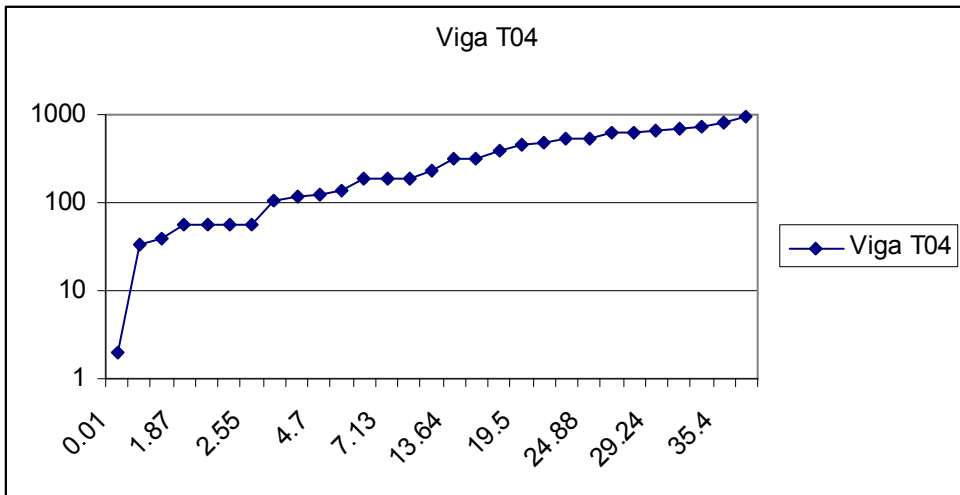
Seminario Internacional d Utilizacao da Madeira de Eucalipto para Serrario, (1995, Sao Paulo). Anais. Piracicaba, IPEF/IPT,. pp. 119-132.

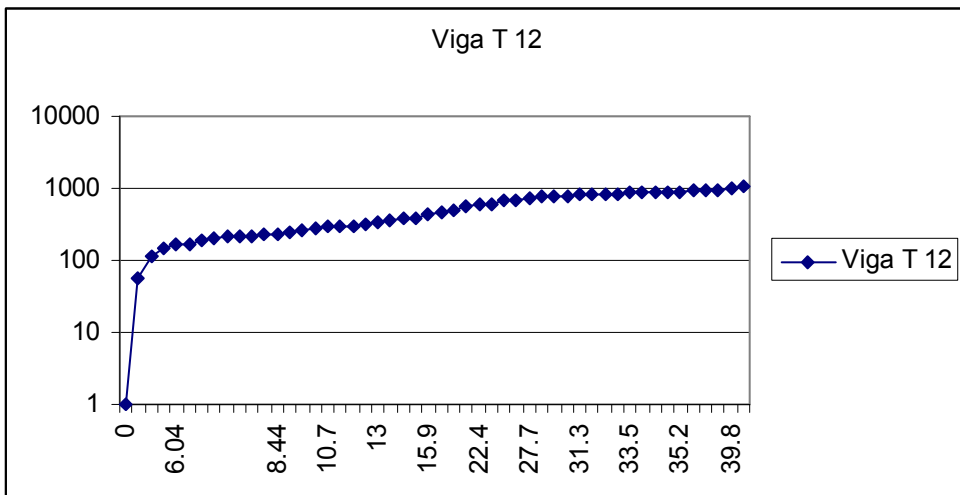
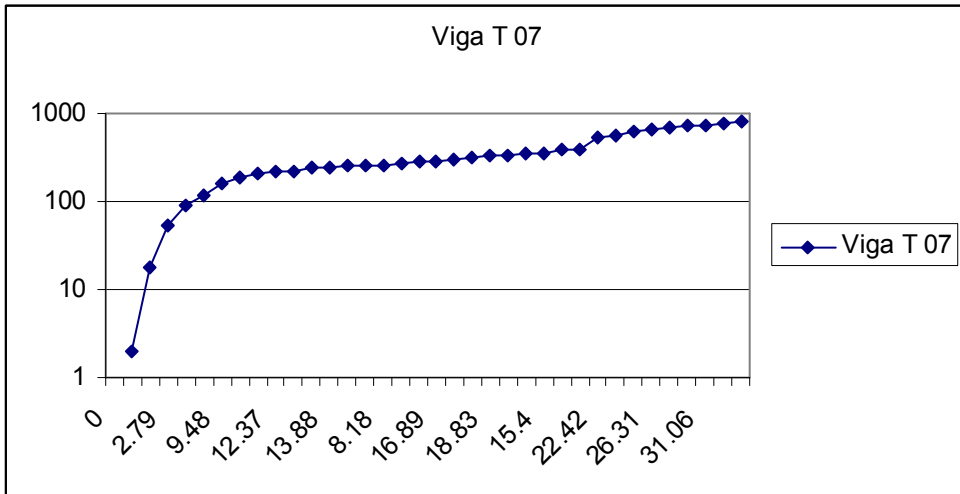
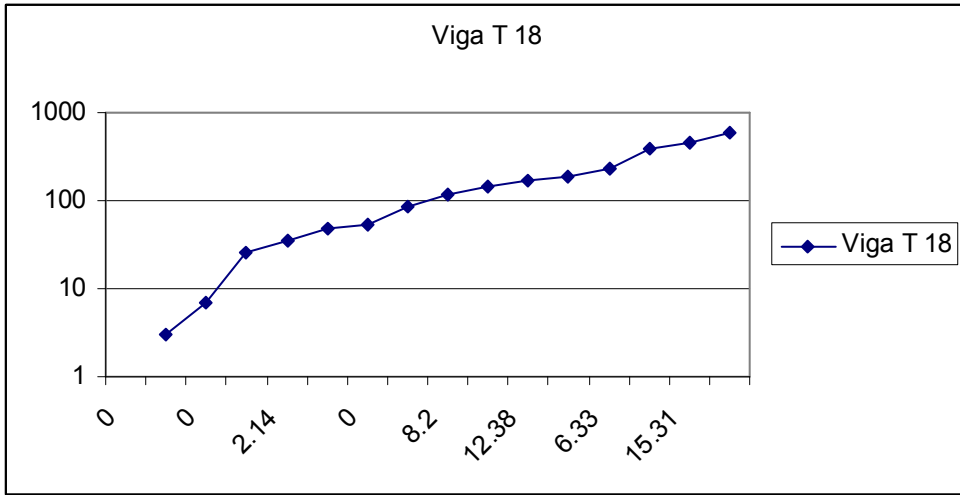
42. _____.1998. Drying of eucalypts with especial reference to young, fast-grown plantation material. In: Seminario Internacional sobre Productos Solidos de Madeira de Alta Tecnologia e Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro , Secagem e Utilizacao da Madeira de Eucalipto, No.1,(1998, Belo horizonte). Anais. Vicososa: SIF/UFV. pp.106-118.
43. ZAKOWICZ, N. 2000. Contractibilidad de madera aserrada comercial de *Eucalyptus grandis* en distintos espesores y condiciones de estibado. Entre Ríos, Argentina, UCU. pp 20-45

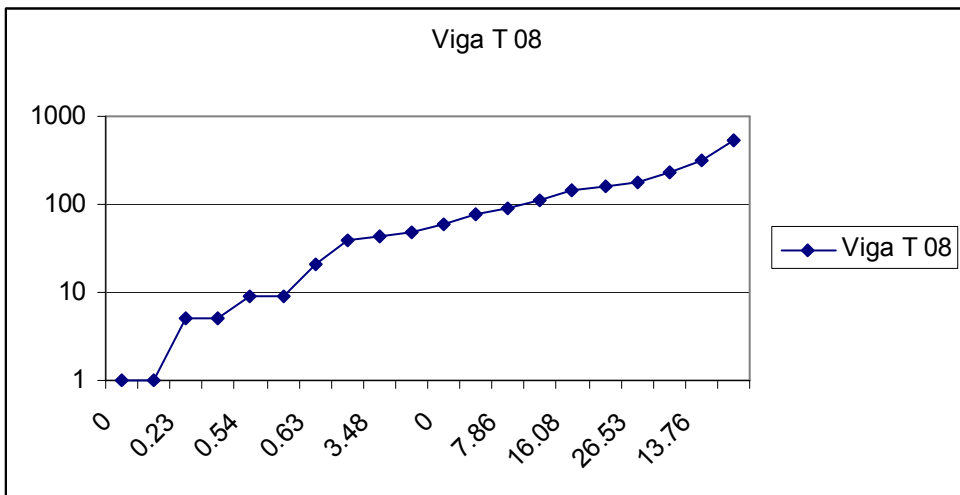
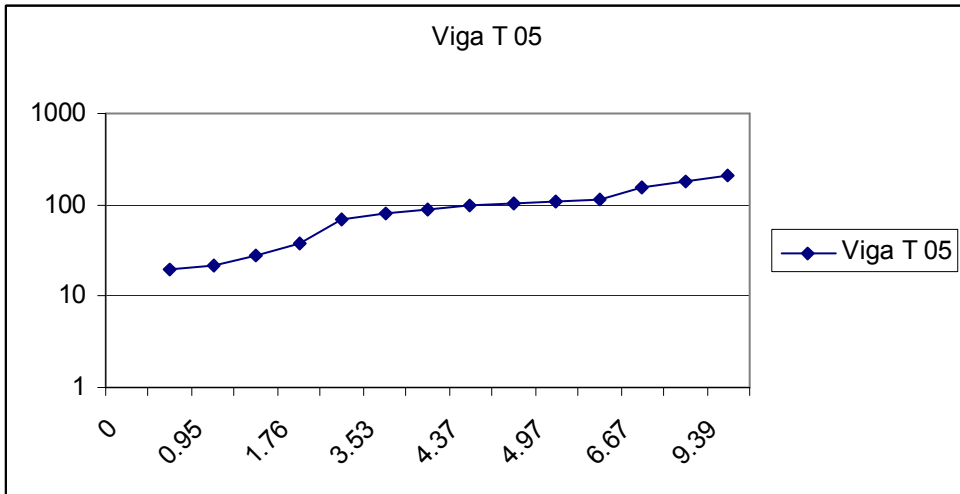
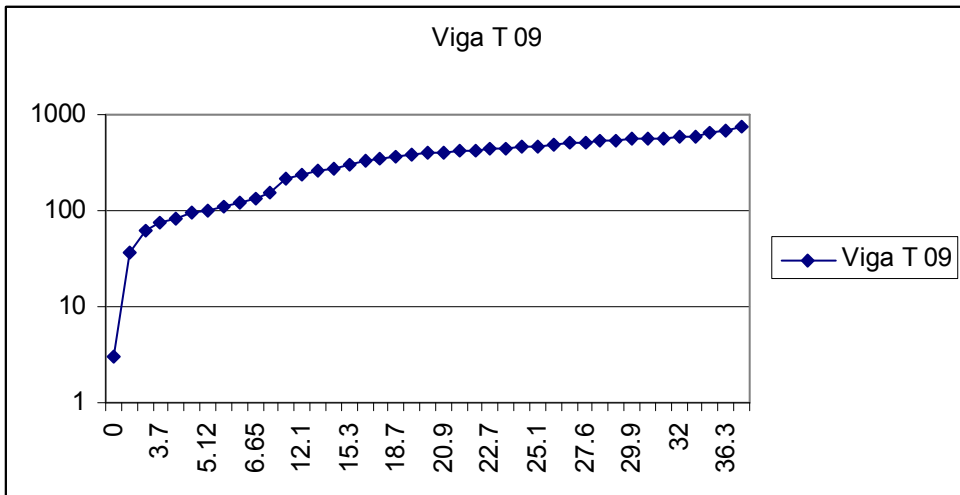
9. ANEXOS

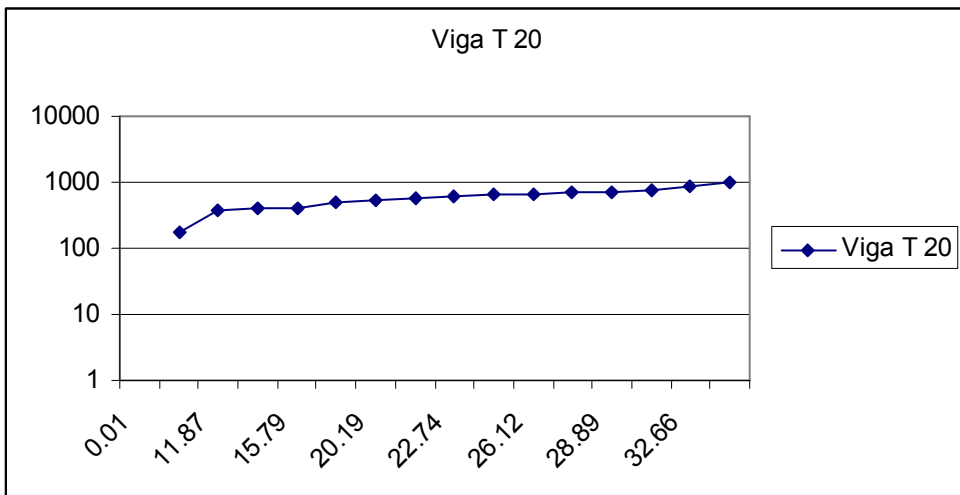
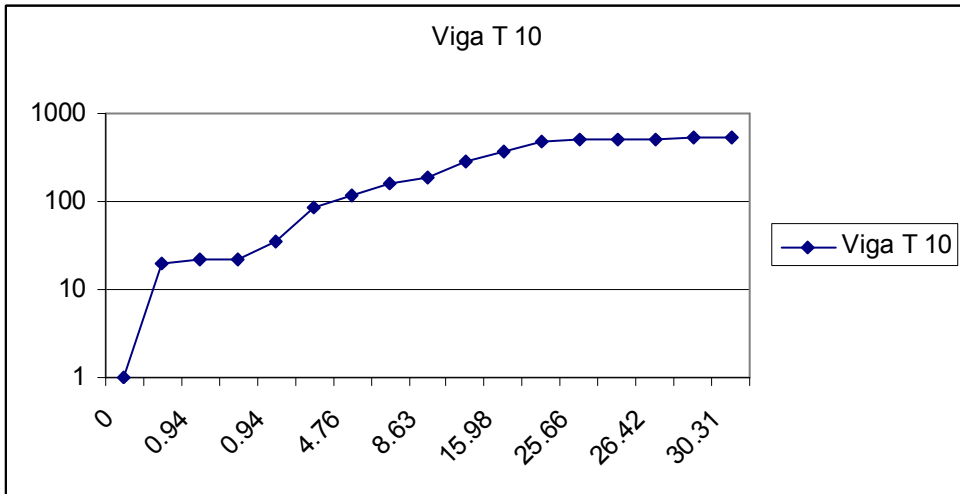
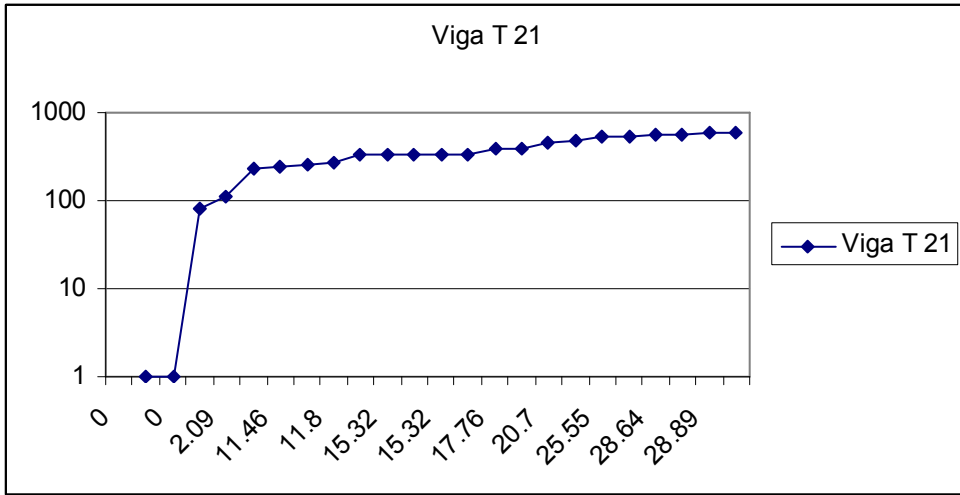
Gráficos de Carga vs Deformación para vigas sin Ranurar.

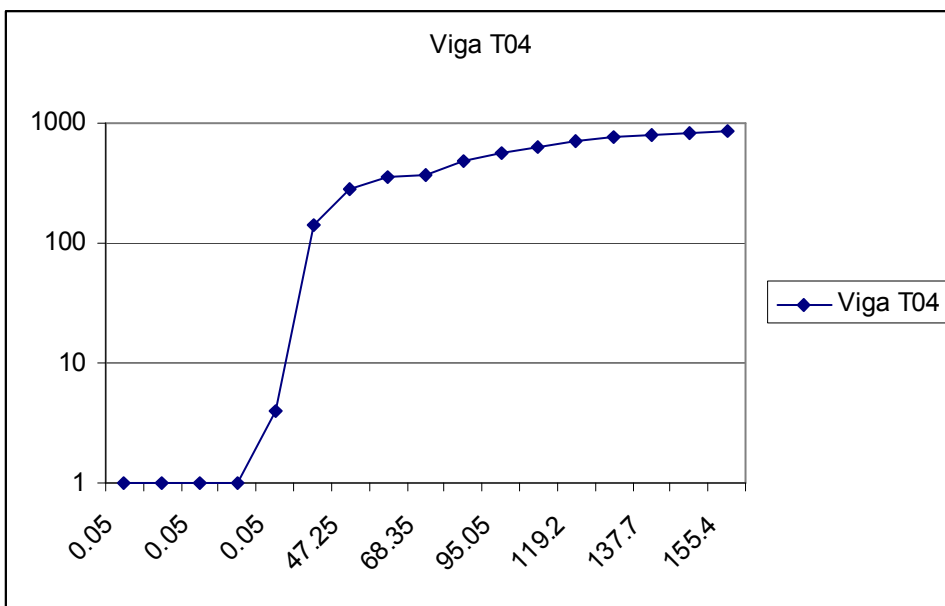
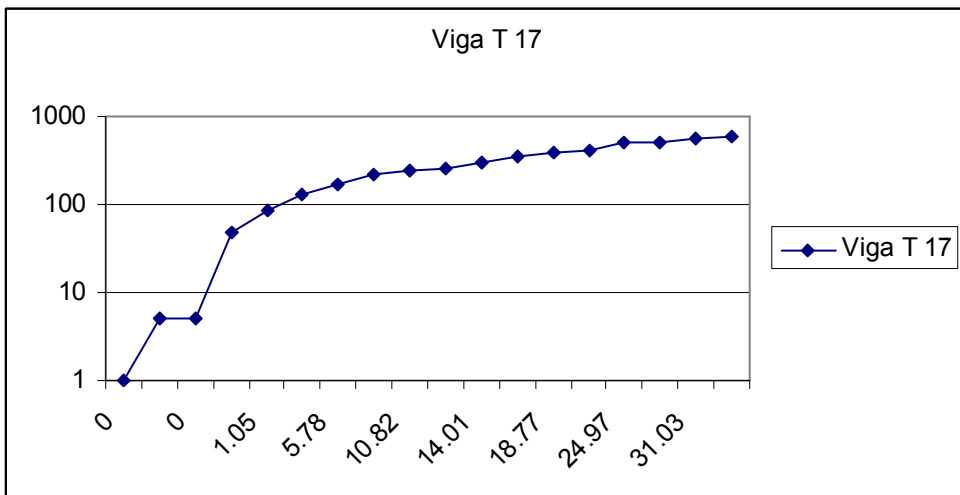
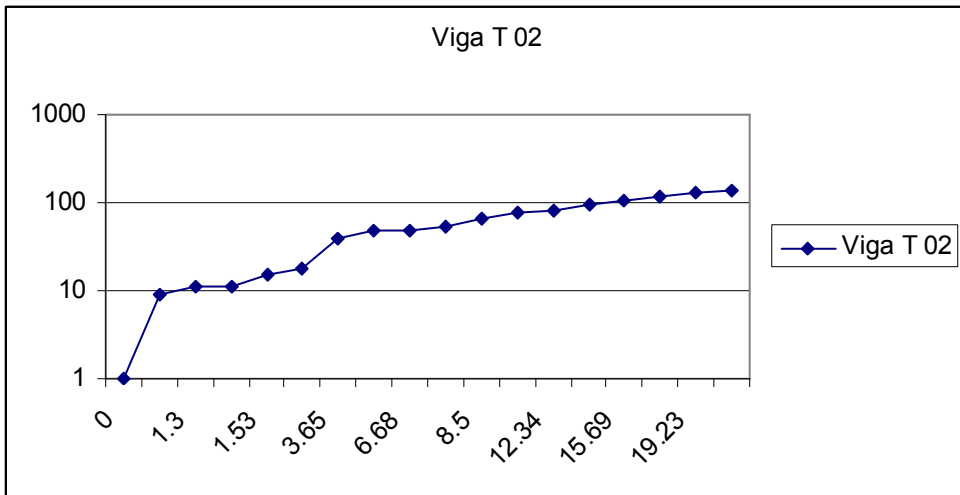


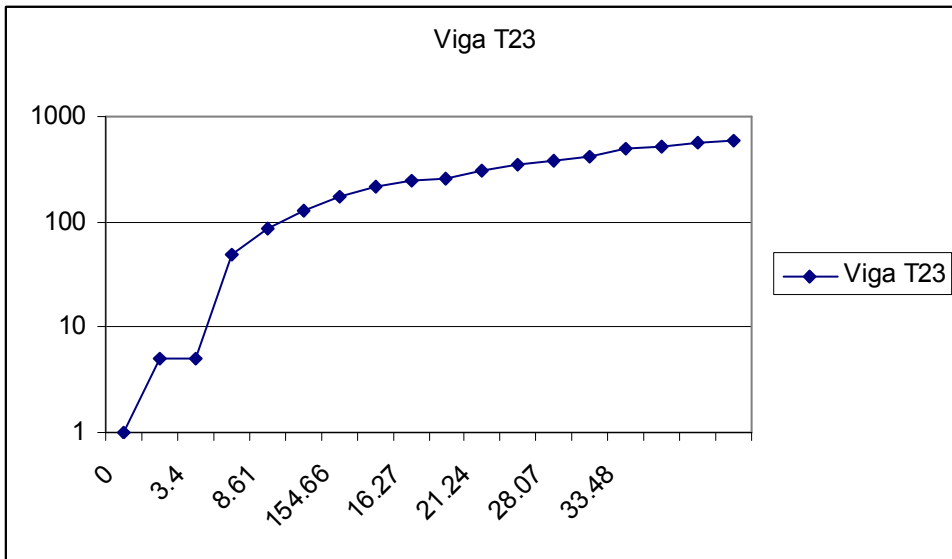












Gráficos Carga Vs Deformación para Vigas Ranuradas

