



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Calidad superficial y resistencia mecánica de  
línea de cola en blancks laminados de *Pinus*  
*radiata* D. Don**

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera L.

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

**ROB RENATO BRUNA MELLA**

VALDIVIA  
2006

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

	<b>Nota</b>
Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera L.	6.0
Informante: Sr. Héctor Cuevas D.	6.0
Informante: Sr. Luis Inzunza D.	6.0

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

---

Sr. Alfredo Aguilera León

Dedicada a la memoria de mi Madre y a mi Familia que siempre me brindaron su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer con todo el corazón a mi padre y mi madre por el esfuerzo realizado durante toda una vida, quienes me entregaron todo su amor, comprensión y apoyo incondicional para la realización de este proyecto. También agradecer a mis hermanos Pato, José y Reinaldo por el apoyo entregado. Agradecer también a mi novia Delia por su amor y apoyo incondicional en todo momento.

Por supuesto agradecer a mi profesor patrocinante, don Alfredo Aguilera León por su paciencia y buena disposición para la realización de este trabajo.

Agradecer también a mis profesores informantes don Héctor Cuevas y don Luis Inzunza por sus sabias y oportunas críticas y correcciones.

Quiero también agradecer a cada una de las personas que trabajan en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales que durante todos estos años de carrera me han entregado las herramientas para crecer como profesional.

Agradecer también en forma especial a mis compañeros y amigos, Marco, Hugo, Dino, Yirleska, y todos aquellos que de una u otra forma me apoyaron y me entregaron toda su ayuda y amistad.

A todos ellos muchas gracias

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
2.1 Industria de remanufactura	3
2.2 Rugosidad superficial	3
2.3 Factores que afectan la rugosidad superficial	5
2.3.1 Proceso de corte	5
2.3.2 Herramienta de corte	6
2.4 Fresado	7
2.5 Formación de la línea de cola	8
2.6 Factores que afectan la unión	9
2.6.1 La madera	9
2.6.2 Condiciones de superficie	9
2.6.3 Dirección de la fibra	10
2.6.4 Orientación de los anillos de crecimiento	10
2.7 Ensayo de cizalle	11
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>12</b>
3.1 Material	12
3.2 Equipos e instrumentos	13
3.3 Método	15
3.3.1 Condiciones de maquinado	15
3.3.2 Medición de rugosidad superficial	17
3.4 Determinación de resistencia mecánica	17
3.4.1 Condiciones de exposición y tratamiento	17
3.4.2 Confección de probetas para ensayos mecánicos	18
3.4.3 Medición cargas de cizalle	19
<b>4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>21</b>
5.1 Evaluación rugosidad superficial según velocidad de avance y tipo de corte	21
5.1.1 Evaluación de rugosidad superficial según velocidad de avance	22
5.1.2 Evaluación de rugosidad superficial según tipo de corte	23
5.2 Determinación de resistencia mecánica	24
5.2.1 Influencia de la velocidad de avance y tipo de corte sobre la resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco	28
5.2.2 Influencia de la velocidad de avance y tipo de corte sobre la resistencia mecánica de probetas con tratamiento de inmersión	30
5.2.3 influencia de la velocidad de avance y tipo de corte sobre la resistencia mecánica de probetas con tratamiento de alta temperatura	32

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>34</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>35</b>
	<b>ANEXOS</b>	

Anexo 1. Abstract

Anexo 2. Valores de la madera seleccionada

Anexo 3. Análisis Estadístico

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Condiciones de maquinado	16
Cuadro 2. Tratamientos realizados	16
Cuadro 3. Número de probetas para maquinado y ensayos de cizalle	17
Cuadro 4. Tratamientos de acondicionamiento por clase de uso seco según norma ASTM D5751	18
Cuadro 5. Rugosidad superficial (um) según espesor de viruta y velocidad de rotación (rpm) constante en corte radial y tangencial	21
Cuadro 6. ANOVA para rugosidad superficial con 2 factores	22
Cuadro 7. Resultados de resistencia mecánica y falla de madera para corte tangencial en cizalle obtenidos según norma ASTM D5751	24
Cuadro 8. Resultados de resistencia mecánica y falla de madera para corte radial en cizalle obtenidos según norma ASTM D5751	24
Cuadro 9. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco con 2 factores	28
Cuadro 10. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en inmersión con 2 factores	30
Cuadro 11. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en alta temperatura con 2 factores	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Unión finger	3
Figura 2. Blancks Laminado	3
Figura 3. Parámetro Rz de rugosidad superficial	4
Figura 4. Ángulos de la herramienta de corte	7
Figura 5. Fresa para elaboración de Finger Joint	8
Figura 6. Dimensiones y tipos de probetas	12
Figura 7. Tupí	13
Figura 8. Cabezal hidrocentrante de 2 cuchillos Z=2	13
Figura 9. Máquina universal de ensayos	14
Figura 10. Par de probetas A y B	17
Figura 11. Formación del blancks laminado	17
Figura 12. Forma y dimensiones de probeta para ensayo de cizalle	19
Figura 13. Obtención de Probetas de cizalle	19
Figura 14. Promedios de rugosidad superficial con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidad de avance	22
Figura 15. Promedios de rugosidad superficial con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte	23
Figura 16. Relación espesor de viruta y rugosidad superficial según tipos de corte	23
Figura 17. Relación densidad y resistencia mecánica en corte radial y tangencial	25
Figura 18. Resistencia registrada en la unión para madera tangencial y radial	25
Figura 19. Contenido de humedad para madera tangencial y radial	26
Figura 20. Relación espesor de viruta y resistencia mecánica para corte tangencial según tratamiento	26
Figura 21. Relación espesor de viruta y resistencia mecánica para corte radial según tratamiento	27
Figura 22. Relación resistencia y rugosidad superficial para corte tangencial	27
Figura 23. Relación resistencia y rugosidad superficial para corte radial	27
Figura 24. Probetas ensayadas en seco	28
Figura 25. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance	29
Figura 26. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte	29
Figura 27. Probetas ensayadas con tratamiento de inmersión	31

Figura 28.	Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance	31
Figura 29.	Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte	32
Figura 30.	Probetas ensayadas con tratamiento de alta temperatura	32
Figura 31.	Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte	33
Figura 32.	Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance	33

## RESUMEN EJECUTIVO

Se estudio la influencia de la rugosidad superficial con diferentes condiciones de maquinado en el fresado de pino radiata en la resistencia al cizalle en uniones de canto. Con ese objetivo se realizaron ensayos en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, con probetas preparadas de manera tal que las variables influyentes en la resistencia de la unión conocidas se encontraran parcialmente controladas para manejar como única variable la rugosidad superficial y el tipo de corte.

El estudio fue realizado con diferentes velocidades de avance de 4, 8, 11 y 22 m/min. con velocidad de rotación constante y para corte tangencial y radial.

La influencia de la velocidad de avance sobre la rugosidad superficial permite confirmar la teoría, ya que un incremento de la velocidad de avance genera superficies de inferior calidad para velocidades de rotación constantes.

Como resultado del análisis no se encontraron influencias de la rugosidad superficial sobre la resistencia al cizalle en las uniones de canto. Para el caso de la resistencia versus tipo de corte se observó una disminución significativa de la resistencia al cizalle para las uniones de canto en cortes radiales en relación al corte tangencial.

Estos resultados permiten contribuir a mejorar los procesos de maquinado en la generación de uniones de canto y los datos pueden servir de referencia para generar productos de mejor calidad.

## 1. INTRODUCCION

La industria de la madera ha incorporado nuevas tecnologías para poder obtener un mayor aprovechamiento de las materias primas en los diferentes procesos productivos. En general, las industrias de segunda transformación fabrican productos donde se utilizan uniones dentadas y/o uniones laminares que necesitan tecnologías y procesos que permitan obtener productos de calidad.

Las uniones dentadas y/o laminares constituyen un medio de gran potencial para mejorar el rendimiento de la materia prima en la industria de mueble principalmente, ya que permiten mejorar la calidad de los productos finales y disminuir costos, al aprovechar trozas de baja calidad que el comercio de madera aserrada no utiliza.

Los procesos utilizados para la producción de uniones laminares involucran tecnologías de alto valor. El objetivo principal de estos productos es minimizar los costos de producción y una forma de lograrlo correspondería a la optimización de los parámetros utilizados en el proceso. Estos corresponden al maquinado y la materia prima con los que se está trabajando. También se busca mejorar la calidad del producto tomando en cuenta estas variables.

En el caso de las máquinas moldureras los costos involucrados corresponden básicamente a la energía consumida y a la materia prima empleada en los procesos, es por ello que los factores de producción deben ser monitoreados, ya que sus interacciones influyen notablemente en los costos mencionados.

Una de las problemáticas en la generación del plano de encolado es la calidad superficial para lograr un buen ensamblaje en la formación de la unión. Por ello la importancia de este estudio, ya que los datos que fueron encontrados pueden ser extrapolados y aplicados en empresas que fabrican estos productos y mejorar su calidad.

## **1.1 Objetivo general**

El objetivo general de éste estudio es evaluar las condiciones de maquinado que influyen sobre la calidad de la línea de cola en blancks laminados de *Pinus radiata* D. Don.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Determinar para diferentes condiciones de maquinado, la calidad superficial de la línea de cola.
2. Evaluar la calidad de las uniones mediante ensayos mecánicos de cizalle.
3. Evaluar la influencia de la orientación de los anillos en la línea de cola, sobre la calidad superficial y resistencia mecánica.
4. Establecer correlaciones entre las condiciones de maquinado y la resistencia mecánica de las piezas según orientación de anillos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Industria de remanufactura

La industria secundaria de la madera o de remanufactura comprende la elaboración de madera, como molduras, partes y piezas de muebles entre otros. La transformación secundaria de la madera es el rubro que involucra un mayor valor agregado, alcanzando mercados internacionales que exigen altos estándares de calidad. La Industria de Remanufactura o Secundaria de la Madera ha aportado con altos montos de las exportaciones forestales de nuestro país.

Uno de los productos que se obtienen son los blanks, que corresponden a piezas formadas por la unión finger de blocks (Figura 1) de diversas medidas. Las uniones Finger Joint son un tipo de ensamble transversal, por medio de varias uniones que poseen un perfil trapezoidal cónico, las cuales son previamente encoladas y luego unidas a presión. (Martínez 1994) El blanks laminado consiste en el procesamiento de los cutstocks y blanks en distintas líneas orientadas a los productos finales (Figura 2). Estas son las moldureras, para el caso de las molduras, o las líneas de encolado de canto o línea de encolado de cara, para los productos laminados. El blanks laminado se realiza mediante la unión de canto de 2 blanks lo cual permite obtener una tabla de mayor ancho y libre de defectos. Las principales máquinas para estos últimos productos son procesadoras de líneas de colas, prensas tanto frías como de radio frecuencia, escuadradoras y lijadoras.

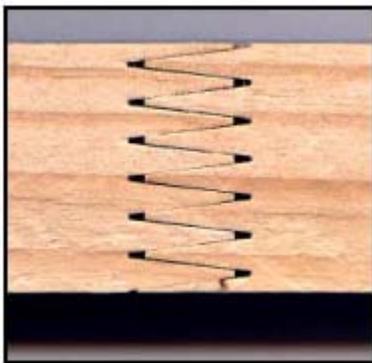


Figura 1. Unión finger

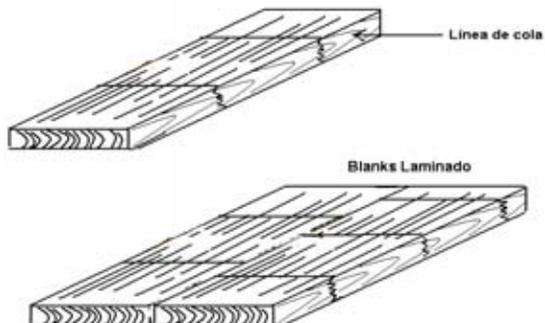


Figura 2. Blanks Laminado

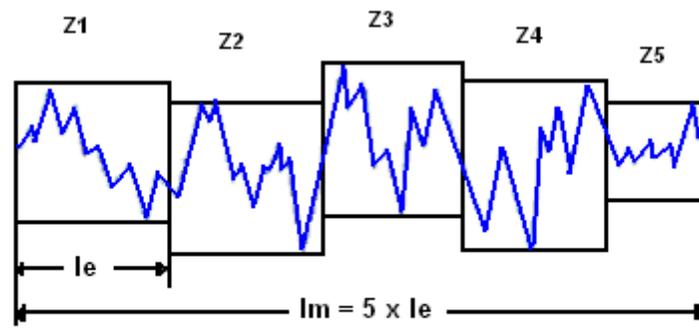
### 2.2 Rugosidad superficial

La importancia de controlar el estado superficial de la madera lo indica Vega M. (2004), citado por Stumbo (1962) señalando que la rugosidad superficial va a estar directamente relacionada con el uso que se le quiera dar a una pieza, además, un control efectivo de la calidad de la superficie permite asegurar un ensamblaje correcto de las piezas y determina la aplicación de adhesivos y productos de terminación.

La rugosidad superficial en la madera se produce al dimensionarla, por lo tanto, para poder emplear la madera, ésta debe poseer forma, la que se obtiene gracias a un corte efectuado por un diente o cuchillo (elemento de corte), proceso que recibe el nombre de “maquinado”.

Para cuantificar la rugosidad superficial se observan parámetros tales como rugosidad, ondulación, sesgo de superficie e imperfecciones, donde rugosidad corresponde a irregularidades más pequeñas que se encuentran en distancias cortas de muestreos de la superficie maquinada, ondulación al contrario de rugosidad, corresponde a irregularidades mayores, dentro del nivel siguiente superior de la longitud de muestreo. Sesgo de superficie corresponde a la orientación de la figura de la superficie y las imperfecciones que son propias del material, que corresponden a inclusiones de material y otras deformaciones de la superficie. (López E. *et al.*, 2003)

El valor de Rz corresponde a la profundidad de la rugosidad media en micrones que es la media aritmética de las profundidades de rugosidad por separado de cinco diferentes tramos de medición colindantes (figura 3).



$$R_z = \frac{1}{5}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

Figura 3. Parámetro Rz de rugosidad superficial

La magnitud de las irregularidades y formas dependen de variados factores interrelacionados entre sí, sin embargo, éstas se pueden agrupar en tres, según Marian, *et al* (1958), citado por Vega M. (2004) como son:

- La anatomía de la madera; diámetro de traqueidas, espesor de las paredes celulares, tamaño de vasos, etc.
- Forma de Maquinado; marcas por los dientes de la sierra o las ondas formadas por la cepilladora, etc.
- Variaciones producidas dentro del proceso de maquinado; como son vibraciones, desalineamientos de los ejes, etc.

Tanto las velocidades de avance como de rotación muestran comportamientos consistentes en cuanto a su efecto sobre la rugosidad superficial, donde un aumento de la velocidad de avance genera superficies de inferior calidad para velocidades de

rotación constantes. Un aumento de la velocidad de rotación produce superficies menos rugosas para velocidades de avance constantes. El espesor de viruta es un buen indicador de la rugosidad superficial para diferentes condiciones de maquinado, ya que integra una serie de condiciones de corte en conjunto. (Aguilera A., Vega M., 2004)

En estudios realizados en maquinado de tableros de partícula de densidad media (MDF) se encontró relación entre el espesor de viruta y la rugosidad superficial (Aguilera, A.; Vega, M. 2004), con buenos niveles de correlación mostrando tendencias lineales positivas, donde las mejores calidades fueron obtenidas con espesores de viruta pequeños, sin embargo con altos consumos de energía y con una disminución de la vida útil de la herramienta de corte.

El fundamento de las herramientas en el proceso de moldurado son las mismas que para las sierras, en donde el concepto de la mordida, que se refiere al desgaste que produce el cuchillo sobre la superficie, y de la velocidad de avance se hace mucho más patente. Los defectos de superficie causados por la cuchilla o fresa obedecen a la velocidad de corte y a su profundidad. A medida que aumenta la velocidad de avance de la madera, aumenta el paso de la ondulación y la apariencia del defecto. De la misma forma, aumentando la profundidad del corte, aumenta la irregularidad de la superficie y pierde calidad el trabajo. (Vignote y Jiménez 2000)

### **2.3 Factores que afectan la rugosidad superficial**

Los factores que intervienen o afectan la rugosidad superficial son variados, como son los referidos al proceso de corte y los relacionados con la herramienta de corte.

#### **2.3.1 Proceso de corte**

En el proceso de corte intervienen una serie de factores que afectan la rugosidad superficial, algunos son:

- Espesor de viruta
- Formación de ondas

##### **2.3.1.1 Espesor de Viruta**

La viruta se produce por la acción de una herramienta de corte en una pieza de madera, la cual presenta dimensiones y espesores variables. La formación de la viruta depende de la geometría de la herramienta, de la humedad de la madera y del movimiento de la herramienta con respecto a la orientación de la fibra.

El espesor de viruta debe ser lo más pequeño posible, de manera de evitar la formación de ondas muy pronunciadas. “fz” debe ser lo más grande posible para disminuir el gasto de energía y aumentar la vida útil del filo de los cuchillos.

Se considera el espesor medio de viruta  $em$  como:

$$em = \frac{Vf * 1000}{n * Z} * \sqrt{\frac{ap}{D}}$$

Donde: Vf = velocidad de alimentación (m/min.)  
n = rpm  
Z = número de cuchillos  
Ap = profundidad de corte (mm)  
D = diámetro de la herramienta (mm)

Lo que afecta fuertemente una buena terminación superficial es la distancia entre cortes de cuchillo ( $fz$ ) y éste a su vez influye sobre el espesor de viruta ( $em$ ) y por ende en la duración del filo de los cuchillos. En general, lo que facilita el proceso de cepillado es una gran distancia entre cortes de cuchillo, lo que permite aumentar el espesor de viruta, que trae como resultado un gran ahorro de energía con una alta productividad, dado que esto se consigue con altas velocidades de alimentación. Esto es un punto en contra para la calidad de cepillado.

Según Koch (1972), citado por Vega M. (2004), la rugosidad superficial está determinada por la arista de corte y el tipo de viruta obtenido en el proceso de corte.

### 2.3.1.2 Formación de ondas

Se forma debido al movimiento rotatorio de los cuchillos y al movimiento lineal de alimentación de la madera. Da origen al avance por cuchillo:

$$fz = \frac{Vf * 1000}{n * Z}$$

Donde: fz = avance por cuchillo (mm)  
Vf = velocidad de alimentación (m/min)  
n = rpm  
Z = número de cuchillos

El principal factor que determina la calidad superficial del cepillado es la altura de la onda, que depende del diámetro del cabezal. Para saber la calidad de la superficie obtenida se debe calcular la distancia entre cortes de cuchillos ( $fz$ ).

### 2.3.2 Herramienta de corte

Los factores de la herramienta que se deben tener en cuenta, están los inherentes al elemento de corte y los que lo son a la herramienta de corte.

En cuanto al elemento de corte, se encuentra:

Geometría del diente: La fresa es una herramienta que se caracteriza por tener ángulos fundamentales, que son los siguientes: ángulo de ataque ( $\alpha$ ), ángulo de perfil ( $\beta$ ) y ángulo de incidencia ( $\delta$ ). (Figura 4)

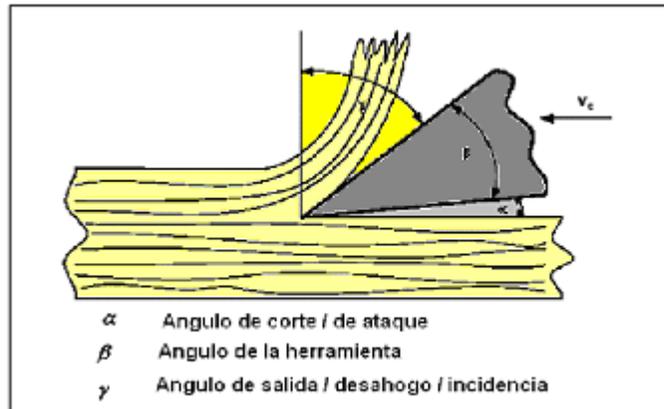


Figura 4. Ángulos de la herramienta de corte

Según Davis (1964), citado por Vega M. (2004), menciona que los ángulos son determinantes en la obtención de una buena rugosidad superficial, sin embargo, también dice que a mismos valores angulares la rugosidad superficial varía fuertemente, dependiendo de las especies que se trate.

Los factores de la herramienta de corte son:

- Velocidad de corte ( $V_c$ ): Es la velocidad del elemento de corte, se mide en m/s.
- Diámetro del cabezal ( $D$ ): Se considera esta medida desde los extremos de los elementos de corte. Se expresa en mm.
- Número de cuchillos ( $Z$ ): Se consideran como números de cuchillos a aquellos que intervienen en el corte. ( $Z=2$ , equivale a decir cabezal con 2 cuchillos)

## 2.4 Fresado

Se entiende el fresado como la acción de “labrar una pieza mediante una fresa”, entendiéndose por fresa una herramienta de movimiento circular continuo, que cuenta con una serie de cuchillos convenientemente espaciados entre sí y que trabajan uno después de otro en la máquina de labrar metales o madera. Las máquinas moldreras permiten dar forma a los cantos de la madera o para lograr una superficie lisa de éstos, que es nuestro caso. Para realizar ésta función la máquina dispone de 2, 3, 4 ó más ejes en un lado de la máquina, en donde se dispone de fresadoras que tienen la función de alisar la superficie del canto de la tabla.

Las fresas son herramientas de corte de alta precisión, que en el caso de las fresas integrales, son de una vida; no así las fresas calzadas en HM (Metal duro). Por lo

general se fabrican para trabajos especiales de espigado, tinglado, moldurado, rebajes, “Finger Joint” ranurados, rodonados, cepillados y cualquier trabajo que involucre fabricar un perfil determinado.

Las fresas para uniones tipo Finger Joint (Figura 5) se fabrican en acero y HM (Metal duro). Los cabezales se constituyen con un cuerpo de alta resistencia (mayor al de la fresa). Llevan cuchillas de acero súper-rápido y pueden configurarse desde 4-6-8 cuchillos recambiables y reafilables.



Figura 5. Fresa para elaboración de Finger Joint

La maquina “fresadora Tupí” se caracteriza por poseer un eje vertical (a veces también inclinable) con movimiento giratorio. Los elementos de corte son cuchillos de acero de alta velocidad, los cuales son montados sobre el cabezal porta cuchillos, con capacidad para fijar cuchillos. Además, el cabezal es de tipo hidrocentrante que mejora el ajuste al eje rotor de la maquina, reduciendo las vibraciones del sistema cabezal-eje.

Las fresadoras sirven para hacer ensambles de madera, fresar perfiles o molduras. La elaboración de la pieza se produce mediante distintas herramientas perfiladas accionadas mecánicamente. El movimiento de avance lo efectúa la pieza a mecanizar. (Nutsch 2000)

## 2.5 Formación de la línea de cola

“La madera por tratarse de un material poroso, al ser encolada se produce una penetración del adhesivo en ésta, mientras éste permanece en estado líquido, produciendo una zona de madera que queda impregnada por el adhesivo” (Poblete 2001).

Por esta razón es esencial que el adhesivo contenga un número significativo de grupos funcionales y que la superficie de la madera tenga un número importante de puntos capaces de reaccionar con la resina. Cualquier factor que limite la resina o bloquee puntos en la madera impedirá una adhesión adecuada (Poblete 2001).

Para lograr una juntura de óptimos resultados, se debe preparar previamente la superficie a encolar. En general, las uniones de madera exigen condiciones de secado, indicándose además, para el uso de madera aserrada o foliada, que la superficie deberá estar cepillada, evitándose el lijado, ya que parte del polvo resultante de esta operación queda en la superficie y en cavidades de la madera absorbiendo gran parte del adhesivo. Las pruebas en adhesivos equivalen a las pruebas sobre las propiedades mecánicas de la unión. En el caso de encolado de piezas de madera los métodos que mejor indican la influencia del adhesivo en la unión son la determinación de las propiedades mecánicas tracción y cizalle (Poblete H. 1978).

## 2.6 Factores que afectan la unión

### 2.6.1 Madera

- *Contenido de humedad.* El contenido de humedad óptimo es aquel que produce la unión encolada más resistente y que al ser incrementado por el agua del adhesivo, se acerque lo más posible al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el elemento laminado, cuando esté en servicio.

En todo caso, el contenido de humedad de la madera destinada a madera laminada no debe ser superior al 12% en el momento del encolado. Si las tablas con las cuales se construirán las láminas tienen diferentes contenidos de humedad, debe procederse a la homogenización de ellas. De otra forma, se producirá un juego en la madera que redundaría en la delaminación de las líneas de encolado.

- *Densidad.* Según Poblete (1978), entre otras razones que hacen ver la importancia que tiene la densidad de la madera en el encolado, se puede indicar el hecho de que en las especies menos densas existe un mayor volumen de espacio libre que permite la entrada del adhesivo facilitando una buena adhesión mecánica. Esto quiere decir que las mayores resistencias de la unión se obtienen con madera de densidad bajas, debido a que la penetración del adhesivo es mayor.

Esto Hay que tener en cuenta que la madera no es un material homogéneo y que la densidad de las piezas de una madera de la misma especie puede variar hasta un 30%.

El cálculo de la densidad puede hacerse midiendo el volumen y el peso de las piezas. Se debería realizar una serie de mediciones para calcular la densidad media de la madera que se está procesando y asimismo comprobar que la variación entre ellas no sea muy grande.

### 2.6.2 Condiciones de la superficie

Las condiciones de la superficie de la madera en el momento del encolado son muy importantes a la hora de maximizar el comportamiento de la cola y por tanto la resistencia mecánica de la unión. El ojo humano puede evaluar fácilmente si la

superficie es aceptable (rugosidad, tendencia a deformarse, condiciones generales, etc.). Una superficie dañada por una mala mecanización puede originar serios problemas. La presencia de sustancias, que puedan detectarse a simple vista antes de encolar o justo después de encolar, también suele perjudicar la operación de encolado.

### 2.6.3 Dirección de la fibra

Para Poblete y Cuevas (1998), la dirección de las fibras y la orientación de los anillos de crecimiento son factores que influyen sobre la resistencia de las uniones, siendo este aspecto un factor difícil de controlar en los procesos industriales por lo que es normal que estas piezas presenten resistencias menores a las exigidas por las normas utilizadas en los controles de calidad.

La inclinación de la fibra respecto al plano de cola tiene influencia sobre las propiedades de adhesión. En pino radiata se ha encontrado que la adherencia tiende a disminuir a medida que el ángulo entre las fibras de los elementos encolados aumenta. Además, se sabe que el ángulo de las fibras respecto al plano de cola crea tensiones secundarias que se manifiestan como esfuerzos cortantes que tienden a producir fracturas a lo largo de las fibras y esfuerzos normales que producen tracción en dirección normal a estas. Según Aguilera y Vega (2004), independiente de las condiciones de maquinado y del espesor de viruta utilizados en este estudio, un cambio en el ángulo de las fibras de la madera tiene un gran efecto sobre la calidad de la superficie. Para las mismas condiciones de corte un cambio del ángulo que se encuentre cercano a  $60^\circ$  o superior generará una superficie de calidad notoriamente deteriorada respecto de ángulos inferiores.

### 2.6.4 Orientación de los anillos de crecimiento anual

Según Karsulovic (1988), citado por Gallardo J. (1999), la orientación de los anillos de crecimiento anual tiene influencia y se refleja en las propiedades de adhesión de la unión. En efecto, la adhesión está en función de la naturaleza y porosidad de la superficie de la madera. Por lo tanto, según sea la orientación de anillos, la superficie a encolar puede presentar distintas características que serán determinadas según la disposición relativa de los elementos anatómicos (vasos, fibras y radios leñosos en latifoliadas y traqueidas y radiotraqueidas en coníferas).

En un estudio realizado en Suecia por Sandberg (1997), citado por Gallardo J. 1999, donde se analizó la influencia de la orientación de los anillos de crecimiento anual sobre la resistencia de la unión dentada en *Pinus silvestres*. Se ensayó dos juegos de probetas, un juego con una orientación y otro juego en el cual una de las piezas estaba rotada en  $90^\circ$ . En el estudio se concluye que no existen diferencias significativas en los valores de resistencia obtenidos por ambos juegos de probetas. A pesar de esto, se recomienda una unión que esté realizada con una orientación uniforme para evitar un debilitamiento de la unión, producto de cambios dimensionales desuniformes, que se producen debido a una variación en el contenido de humedad.

## 2.7 Ensayo de cizalle

Para éste tipo de ensayos, Diaz-vaz y Cuevas (1982) explican que se tienen cargas en sentido opuesto que por estar en planos diferentes, provocan el deslizamiento de una parte del cuerpo sobre la otra. Para cada probeta se determinará la tensión unitaria máxima de cizalle ( $R_{cz}$ ) mediante la expresión:

$$R_{cz} = \frac{Q}{h * a}$$

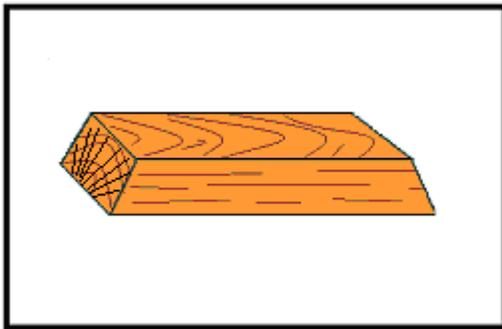
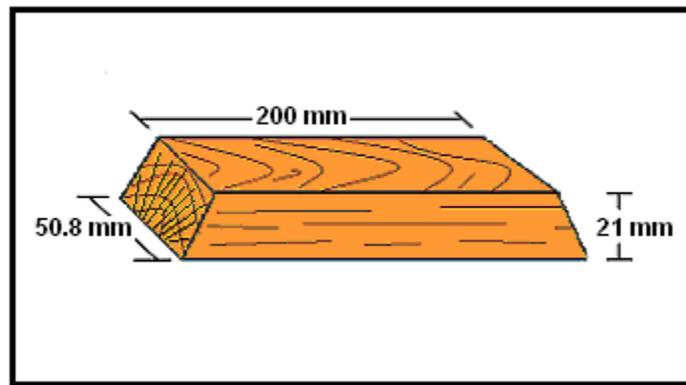
Donde:  $R_{cz}$  = Resistencia al cizalle (Kg. /cm<sup>2</sup>).  
Q = Carga de rotura (Kg.).  
h = Altura promedio de la probeta (cm).  
a = Ancho promedio de la probeta (cm).

Para la evaluación de los productos con uniones de canto con *Pinus radiata* se concluyó que la norma ASTM D 5751-95 es la más adecuada a utilizar. Con esta especificación se permite comparar las uniones encolada versus madera sólida.

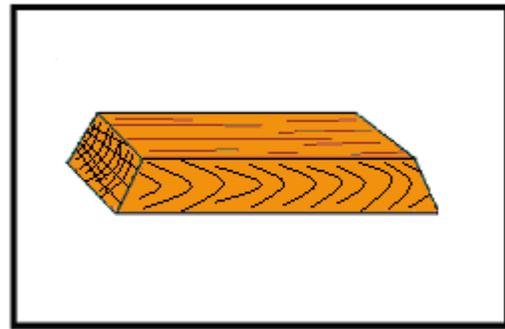
### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material

Para el estudio se utilizó madera de *Pinus radiata* D. Don proveniente de la X Región. Las piezas presentaron un contenido de humedad promedio de 12% con una densidad básica promedio de 0,401 grs. /cm<sup>3</sup> para el caso de madera tangencial y 0,376 grs./cm<sup>3</sup> para el caso de madera radial. Las dimensiones de las probetas para medición de rugosidad superficial fueron de 19mm de espesor, 50,8mm de ancho y 200mm de largo (Figura 6). La densidad y contenido de humedad de la madera fue controlada para el estudio, extrayendo una subprobeta de la probeta para los ensayos. La madera utilizada fue acondicionada a 20±2 °C y 65% de humedad relativa del aire, para alcanzar un contenido de humedad final entre 8 y 12% que es el nivel de humedad que menciona la norma para los ensayos.



(A) Corte Tangencial de madera



(B) Corte Radial de madera

Figura 6. Dimensiones y tipos de probetas

Los tipos de corte que fueron utilizados para el estudio corresponden al tangencial (A) y radial (B).

### 3.2 Equipos e instrumentos

Para producir la línea de cola del producto se empleó una fresadora de tipo Tupí marca “Griggio”, que posee una potencia de motor de 4 kw y velocidad de rotación variable de 8000, 6000, 4200 y 3200 RPM, nominales. Además, se utilizó un elemento de avance automático con velocidad regulable en 4, 8, 11 y 22 m/min., teóricos. La medición del contenido de humedad se realizó por medio de una estufa y pesa digital, la rugosidad superficial fue medida utilizando un rugosímetro de contacto tipo stylus modelo Mitutoyo SJ-210. Para la medición de densidad se utilizó un pie de metro digital y una balanza digital. El prensado de las probetas con una prensa Taylor.

Para la generación del plano de encolado se utilizó la máquina tupí del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile (Ver figura 7).



Figura 7. Tupí.

Los elementos de corte son cuchillos de carburo de tungsteno, los cuales poseen las siguientes dimensiones D: 120, B: 60, d: 40 mm. Se montaron en un cabezal portacuchillos hidrocentrante que tiene la capacidad de fijar 2 cuchillos (Z=2). Los ángulos del elemento de corte son el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) de  $28^\circ$ , del cuchillo o perfil ( $\beta$ )  $45^\circ$  y de incidencia ( $\delta$ )  $17^\circ$ .



Figura 8. Cabezal hidrocentrante de 2 cuchillos Z=2

Los ensayos de cizalle fueron realizados en la máquinas universal de ensayos que posee el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile (Figura 9).



Figura 9. Máquina universal de ensayos del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

### 3.3 Método

#### 3.3.1 Condiciones de maquinado

Para la primera parte del experimento se generó el plano de encolado en las probetas, las cuales fueron maquinadas en 4 condiciones ó niveles (Cuadro 1). Además, las probetas fueron de dos tipos de cortes, tangencial y radial con lo que se analizó la superficie maquinada que resultó según su tipo de corte.

Las constantes de la materia prima:

- Densidad
- Contenido de humedad
- N° de anillos en la zona de unión
  
- Las constantes del proceso:
  - Diámetro del cabezal
  - Geometría de corte
  - Velocidad de rotación (rpm=4200)
  - Número de cuchillos (Z=2)
  - Ancho de corte
  - Profundidad de corte (2mm)
  - Adhesivo (PVA)
  - Tiempo de prensado
  
- Por lo tanto, las variables son:
  - Espesor de viruta en 4 niveles ( Cuadro 1)
  - Tipo de corte: Corte radial y tangencial

Cuadro 1. Condiciones de maquinado

Condición	Espesor viruta Promedio (mm)	rpm	Velocidad de Avance (m/min.)
1	0,08	4200	4
2	0,16	4200	8
3	0,22	4200	11
4	0,44	4200	22

De esta manera, considerando los 4 niveles de espesor de viruta y los 2 niveles de tipo de corte, se generó un diseño factorial de 4x2, lo cual implica un total de 8 tratamientos. (Cuadro 2) En cada tratamiento se realizaron 5 repeticiones, por lo tanto se obtuvieron 80 probetas a las cuales se les midió la rugosidad superficial. Finalmente se realizó un encolado y se unió a la otra pieza para formar la unión a ensayar.

Cuadro 2. Tratamientos realizados

Tratamientos	Espesor de viruta	Tipos de corte	Repeticiones
C1	Esp. 1	Tangencial	5
C2	Esp. 2	Tangencial	5
C3	Esp. 3	Tangencial	5
C4	Esp. 4	Tangencial	5
C5	Esp. 1	Radial	5
C6	Esp. 2	Radial	5
C7	Esp. 3	Radial	5
C8	Esp. 4	Radial	5

Los siguientes esquemas muestran las piezas con los tipos de corte que fueron realizadas para generar la línea de cola. En I y II fueron generados pares de probetas con similar tipo de corte en los cuales, se realizaron los diferentes tratamientos con sus repeticiones para finalmente aplicar adhesivo y obtener el blank (Figura 10 y 11).

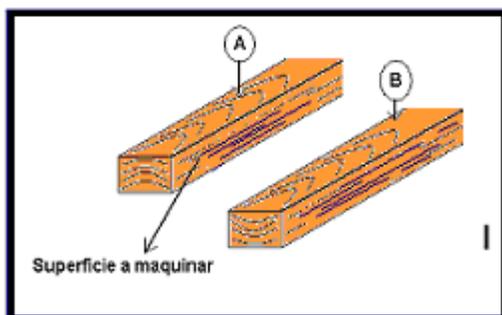


Figura 10. Par de probetas A y B

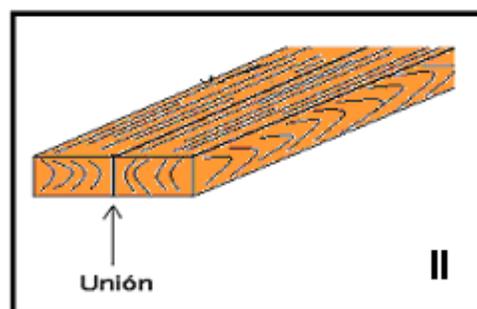


Figura 11. Formación del blanco laminado

### 3.3.2 Medición rugosidad superficial

Para la medición de rugosidad superficial se utilizó un rugosímetro que mide las irregularidades que se producen en la superficie producto del maquinado. Se midió en 5 partes de la superficie maquinada.

El cuadro 3 muestra el número de probetas que fueron maquinadas de las cuales se obtuvieron las probetas de cizalle para medición de resistencia y falla de la madera, según la velocidad de avance y el tipo de corte de la madera.

Cuadro 3. Número de probetas para maquinado y ensayos de cizalle

<b>Tipos de maquinado</b>	<b>Corte Radial</b>	<b>Cortes Tangenciales</b>
Maq. 1	5 pares/cada par 3 prob. cizalle	5*2
Maq. 2	5*2	5*2
Maq. 3	5*2	5*2
Maq. 4	5*2	5*2

### 3.4 Determinación de la resistencia mecánica

La norma sobre estándar para Adhesivos Utilizados para Uniones Laminares en Productos de Madera no estructural (D5751-95) especifica el comportamiento de los adhesivos utilizados y las uniones laminares en productos de madera aserrada no-estructural.

#### 3.4.1 Condiciones de exposición y tratamientos

El ensayo en seco y las condiciones de exposición y tratamientos son para evaluar adhesivos y uniones encoladas de uniones laminares en productos de madera aserrada no estructural para condiciones de uso seco. Los tratamientos de acondicionamiento por clase de uso seco según la norma son detallados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos de acondicionamiento por clase de uso seco según norma ASTM D5751

Clase de Uso	Tratamientos
Uso seco	1. Curado: Climatización (10-12%)
	2. Inmersión: 4 h HOH 18-27°C 19 h secado 41± 3°C aire forzado (Ciclo a repetir 3 veces)
	3. Elevación de temperatura: 6 h estufa 104±3°C y ensayar a 104±3°C

El ensayo en curado o seco es realizado con una herramienta de fuerza de corte, como la máquina universal de ensayo, con la cual se aplica la carga mediante un asiento auto-alineador para asegurar una distribución lateral uniforme de la carga.

El ensayo de inmersión consiste en colocar un grupo de probetas separadas por varillas de tal modo que toda la superficie quede libremente expuesta al agua. Sumerja las probetas en el agua entre 19 a 27°C para que todas las probetas permanezcan al menos 2 pulgadas bajo la superficie del agua. Mantenga las probetas sumergidas por un periodo de 4 horas, luego efectúe el secado a una temperatura de 41 ± 3°C por un periodo de 19 horas con circulación de aire suficiente para reducir el contenido de humedad de las probetas. Repetir este procedimiento dos veces más por un total de tres ciclos. A continuación de tercer ciclo, lleve los ensayos en 1 hora a la condición de secado a 24 ± 3°C y ensayar.

El ensayo de alta temperatura se realiza mediante el uso de un horno que sea capaz de calentar las probetas a 104 ± 3°C por 6 horas y que pueda incluir la máquina para ensayo inmediatamente a continuación del periodo de exposición.

El ensayo mecánico de cizalle para el caso de uniones de canto, se toman como referencia la resistencia al cizalle de la madera sólida y corresponden a un porcentaje del promedio de una muestra sin unión. Para los ensayos de uniones dentadas (flexión y tracción) la norma fija una resistencia promedio (Mpa) que se debe cumplir. Para ambos tipos de uniones la norma establece porcentajes promedios de adhesión.

### 3.4.2 Confección de probetas para ensayos mecánicos

Para evaluar la calidad de las uniones, según las distintas calidades superficiales con las que se trabajaron se realizaron ensayos mecánicos de cizalle. Los ensayos fueron realizados en la máquina universal de ensayos. Las dimensiones de las probetas que se utilizaron para la medición de la resistencia al cizalle, según norma, se muestran en la figura 12.

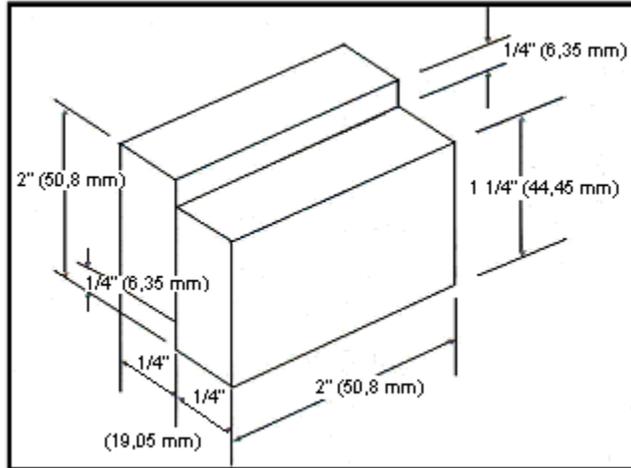


Figura 12. Forma y dimensiones de probeta para ensayo de cizalle

### 3.4.3 Medición cargas de cizalle

El siguiente esquema muestra el número de probetas obtenidas en 1 tratamiento cualquiera o 5 blanks de donde se obtuvieron las probetas de cizalle encoladas (Figura 13).

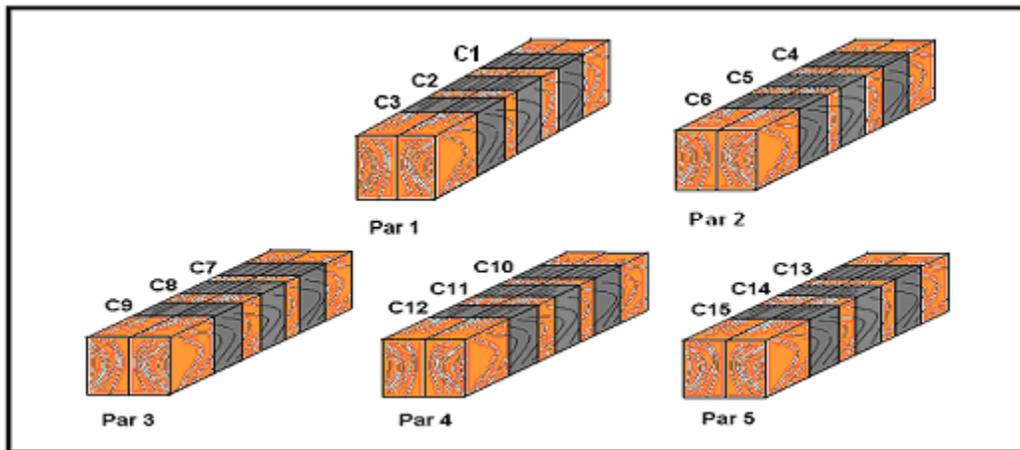


Figura 13. Obtención de Probetas de cizalle

#### **4. Análisis estadístico**

Los datos de rugosidad superficial y resistencia mecánica fueron analizados en el paquete estadístico SATATGRAPHICS Plus 5.0.

Se efectuó un análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías con un nivel de confianza del 95% para la rugosidad superficial y resistencia mecánica, respecto a la velocidad de alimentación y tipo de corte. Paralelamente se realizó una prueba de Tukey a los factores independientes. Ambas pruebas fueron realizadas en los cortes radiales y tangenciales de las probetas. Se ejecutaron modelos de regresión simples entre los espesores de viruta promedio y la rugosidad superficial.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Evaluación de rugosidad superficial según velocidad de avance y tipos de corte

Los resultados que se presentan a continuación son consistentes con los resultados de las revisiones bibliográficas en cuanto a que el espesor de viruta es un buen indicador de la calidad superficial resultante de los procesos de maquinado. El cuadro 5 muestra los resultados obtenidos para rugosidad superficial según las diferentes condiciones de maquinado y tipo de corte.

Cuadro 5. Rugosidad superficial ( $\mu\text{m}$ ) según espesor de viruta y velocidad de rotación (rpm) constante en corte radial y tangencial.

N	Vf	ec	Rugosidad Rz corte tangencial	Rugosidad Rz corte radial
4200	4	0,08	23,37	23,90
4200	4	0,08	21,69	21,28
4200	4	0,08	17,29	24,24
4200	4	0,08	19,81	19,98
4200	4	0,08	19,93	21,65
4200	8	0,16	25,58	25,71
4200	8	0,16	22,54	26,95
4200	8	0,16	22,42	28,12
4200	8	0,16	23,77	32,06
4200	8	0,16	26,31	32,58
4200	11	0,22	26,56	27,49
4200	11	0,22	23,68	30,37
4200	11	0,22	23,34	26,59
4200	11	0,22	27,00	30,38
4200	11	0,22	27,16	27,79
4200	22	0,44	33,15	33,76
4200	22	0,44	31,43	32,53
4200	22	0,44	35,97	28,26
4200	22	0,44	28,64	30,40
4200	22	0,44	32,67	31,54

N = velocidad de rotación (rpm)

ec = espesor de viruta (mm)

Rz = rugosidad superficial ( $\mu\text{m}$ )

Vf = velocidad de avance (m/min.)

Para analizar la rugosidad superficial, se utilizaron las 40 mediciones realizadas las cuales corresponden a las medias de las rugosidades para cada tratamiento o nivel y los dos tipos de corte.

La tabla ANOVA presentada en el cuadro 6 permite conocer qué factores estudiados influyen en forma significativa sobre la rugosidad superficial.

Cuadro 6. ANOVA para rugosidad superficial con 2 factores

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
A : Vf	46,8225	1	46,8225	8,02	0,0076
B : Tipos de Corte	554,834	3	184,945	31,67	0
RESIDUOS	204,411	35	5,84032		
TOTAL CORREGIDO	806,068	39			

Un p-valor menor a 0,05 indica influencias estadísticas significativas; por lo tanto al ver los resultados, se puede afirmar que la rugosidad superficial se ve afectada en forma significativa por la velocidad de avance y el tipo de corte, con un nivel de confianza estadístico del 95%.

Para determinar entre que niveles de cada factor existieron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con el método de Tukey, para cada factor.

#### 5.1.1 Evaluación de rugosidad superficial según velocidad de avance

La velocidad de avance afectó significativamente la rugosidad superficial en la superficie maquinada (Figura 14), lo que coincide con los estudios hechos anteriormente por Aguilera y Vega, M (2004), donde se menciona la relación entre rugosidad y la velocidad de avance, a medida que aumenta la velocidad de avance aumenta la rugosidad superficial, por lo cual se generan superficies de inferior calidad, esto para velocidades de rotación constantes. Un aumento en la velocidad de alimentación disminuye el tiempo de contacto de la pieza de madera procesada con el elemento cortante, lo que ocasiona superficies con rugosidades altas y por lo tanto un deterioro en la plano procesado.

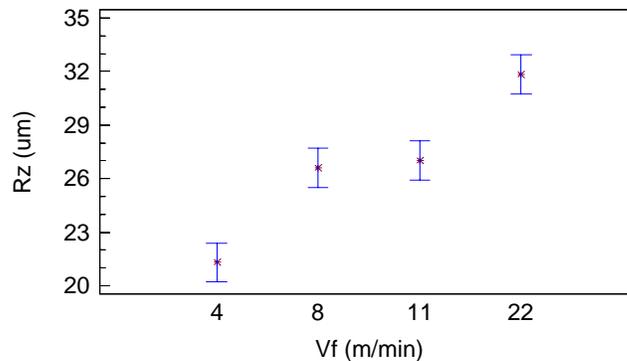


Figura 14. Promedios de rugosidad superficial con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidad de avance.

### 5.1.2 Evaluación de rugosidad superficial según tipos de corte

En este caso, el factor tipo de corte, tangencial y radial afectó significativamente la rugosidad superficial en la superficie maquinada, apreciándose claramente la figura 15. Esto se explica por la estructura anatómica presente en cada tipo de corte como lo indica Marian, *et al* (1958), citado por Vega (2004), como son la anatomía de la madera, diámetro de traqueidas, espesor de las paredes celulares, tamaño de vasos, etc....

El tipo de corte tangencial presentó un promedio de rugosidad con 25,61  $\mu\text{m}$ , para el caso del corte radial el promedio de rugosidad fue de 27,77  $\mu\text{m}$ .

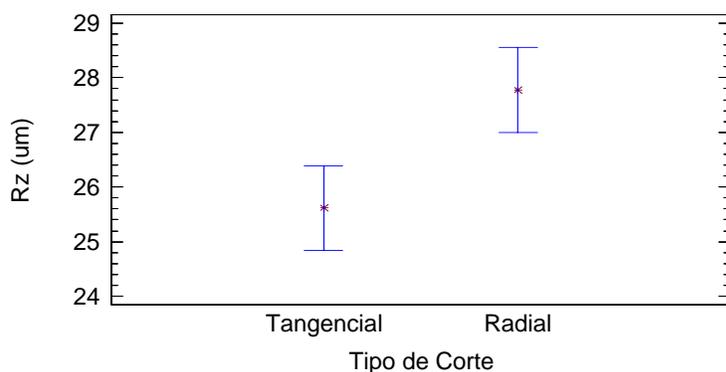


Figura 15. Promedios de rugosidad superficial con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte

Para el caso del corte tangencial la rugosidad superficial resultó ser menor, lo que indica una mejor calidad de la superficie, en tanto, la rugosidad superficial presentada por el corte radial fue mayor lo que indica una menor calidad superficial. (Figura 16)

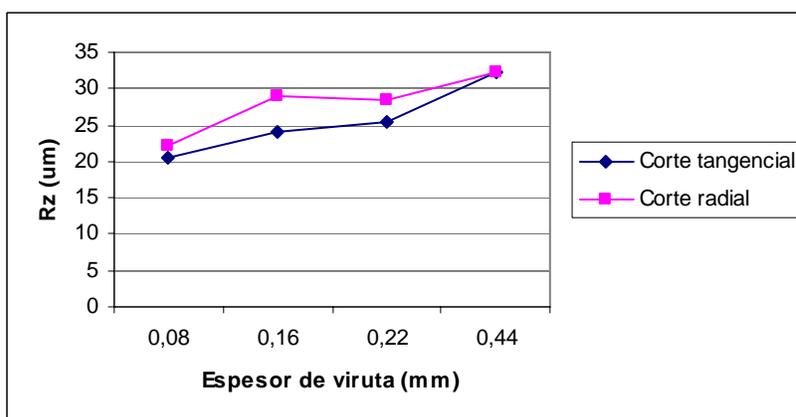


Figura 16. Relación espesor de viruta y rugosidad superficial según tipos de corte

## 5.2 Determinación de resistencia mecánica

Los resultados de resistencia mecánica en megapascal (Mpa) fueron obtenidos de probetas que presentaron diferentes calidades superficiales desde donde se extrajeron distintas probetas de cizalle. En el ensayo se empleó el procedimiento establecido por la norma ASTM D5751-95 que considera ensayos para uniones de canto y endentadas,

Para la realización de los ensayos se confeccionaron 60 probetas de cizalle las cuales se les aplicaron diferentes tratamientos según la norma. Los cuadros 7 y 8 muestran las medias de resistencia mecánica en megapascal (Mpa) y falla de madera en % para corte tangencial y radial y para cada condición de maquinado y tratamiento.

Cuadro 7. Resultados de resistencia mecánica y falla de madera para corte tangencial según velocidad de avance en cizalle obtenidos según norma ASTM D5751

Vf (m/min)	Tratamientos					
	Seco		Inmersión (3 Ciclos)		Alta Temperatura	
	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)
4	12,19	90,8	8,50	27	2,65	7,2
8	14,40	79	7,18	23,6	2,37	4,2
11	11,88	92,6	6,07	50	2,91	6,1
22	13,86	90,6	4,75	30,75	2,07	4,6

Cuadro 8. Resultados de resistencia mecánica y falla de madera para corte radial según velocidad de avance en cizalle obtenidos según norma ASTM D5751

Vf (m/min)	Tratamientos					
	Seco		Inmersión (3 Ciclos)		Alta Temperatura	
	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)	Resistencia (Mpa)	Falla Madera (%)
4	8,74	83	4,26	26	1,36	3,1
8	9,99	98	3,75	23	1,66	3
11	10,97	79	4,10	16,4	1,73	2,5
22	10,00	95	4,09	16	1,41	2,4

La mayor resistencia al cizalle se presentó en probetas de corte tangencial, en comparación al corte radial, esto para los diferentes tratamientos y las distintas velocidades de avance. Para el caso de la unión realizada con madera tangencial, la resistencia fue de un 75% mayor en comparación a la unión de madera de corte radial. La mayor resistencia, para el caso de madera de corte tangencial, se obtuvo con una velocidad de avance de 8 m/min y un espesor de viruta de 0,16 mm, con 14,40 Mpa. Para el caso de madera de corte radial, la mayor resistencia se registró con una velocidad de avance de 11 m/min y un espesor de viruta de 0,22 mm, con 10,97 Mpa.

La figura 17 muestra influencia que tuvo la densidad de la madera en la resistencia de la unión para el caso de madera de corte tangencial, con una densidad de 0,402 grs/cm<sup>3</sup> y para madera radial con una densidad de 0,376 grs/cm<sup>3</sup>.

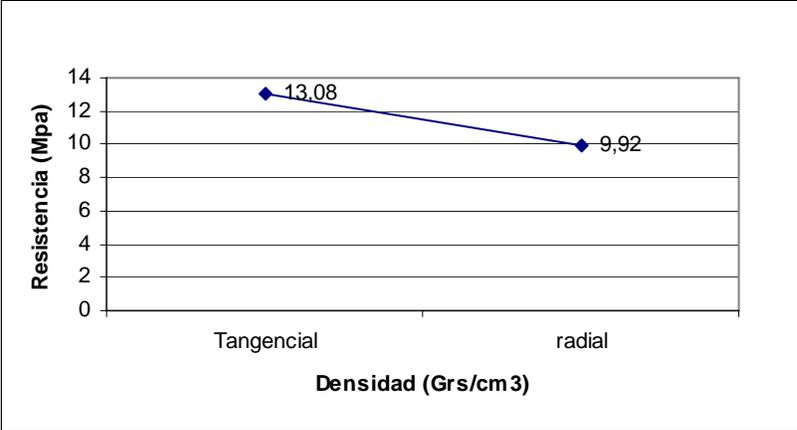


Figura 17. Relación densidad y resistencia mecánica en corte radial y tangencial

El contenido de humedad fue otro factor importante que afectó la resistencia de la unión. Las figuras 18 y 19 muestran una disminución de la resistencia al aumentar el contenido de humedad de la madera. Para el tipo de corte 1 que corresponde al tangencial, la resistencia fue de 13,08 Mpa y el contenido de humedad fue de 11,8%. En comparación a la madera de corte radial (2), que presentó valores de resistencia en la unión menor con un contenido de humedad mayor.

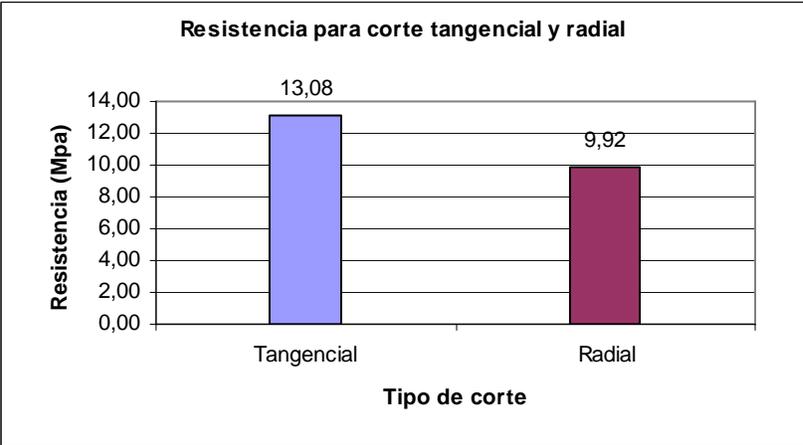


Figura 18. Resistencia registrada en la unión para madera tangencial y radial

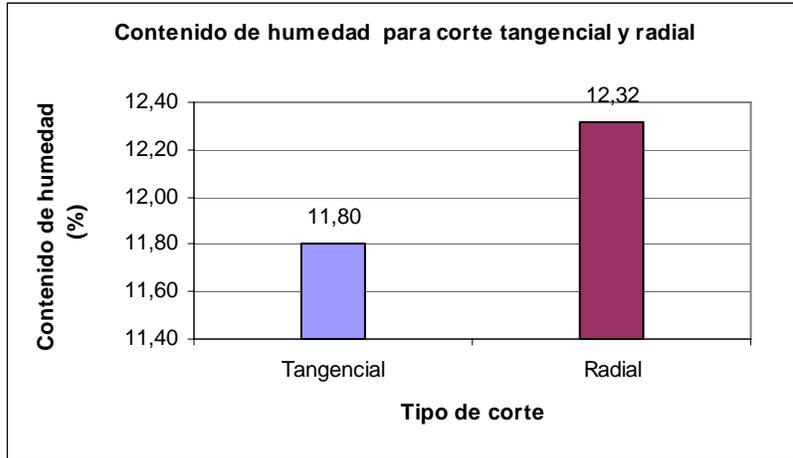


Figura 19. Contenido de humedad para madera tangencial y radial

La resistencia de la unión fue afectada fuertemente producto de los tratamientos realizados, para el caso de la madera de corte tangencial, el tratamiento de inmersión hizo bajar la resistencia hasta un 50% en relación a la resistencia que se obtuvo en seco y el tratamiento en alta temperatura disminuyó la resistencia hasta un 80% en relación a la resistencia en seco. Lo mismo se registró en el caso de la unión de madera de corte radial aplicando los mismos tratamientos.

La figura 20 y 21 muestra la relación que existe entre la resistencia al cizalle de las probetas según los diferentes tratamientos y espesores de viruta para corte tangencial y radial. En este caso se observa una leve disminución de la resistencia a medida que aumenta el espesor de viruta, esto puede ser explicado por la calidad de la superficie generada a un espesor de viruta mayor, el que resulta ser de una calidad menor.

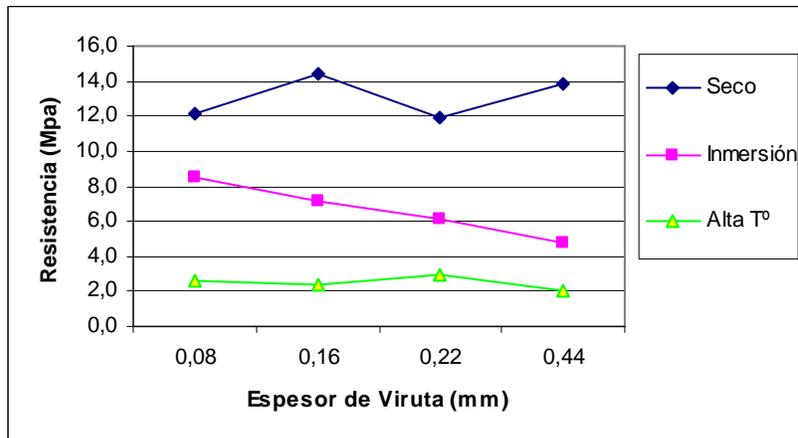


Figura 20. Relación espesor de viruta y resistencia mecánica para corte tangencial según tratamiento

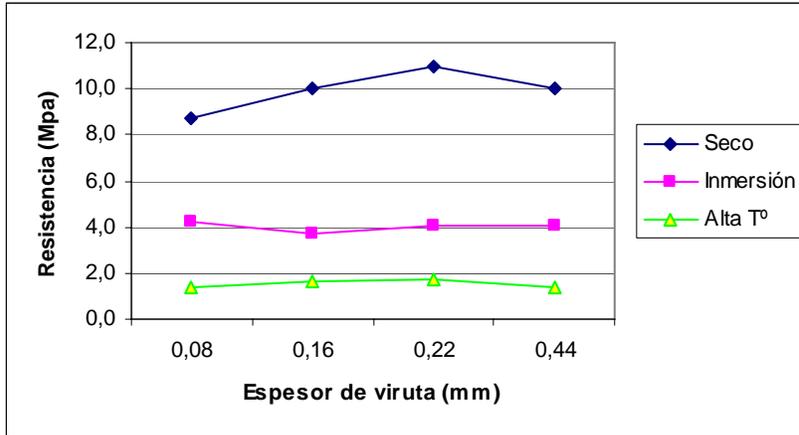


Figura 21. Relación espesor de viruta y resistencia mecánica para corte radial según tratamiento

Las figuras 22 y 23 muestran como se comportó la resistencia de la unión en madera de corte tangencial y radial respectivamente, en relación la rugosidad superficial y con los respectivos diferentes tratamientos. La resistencia de la unión presentó una leve disminución en ambos tipos de corte, aumentando la resistencia con valores de rugosidad menor.

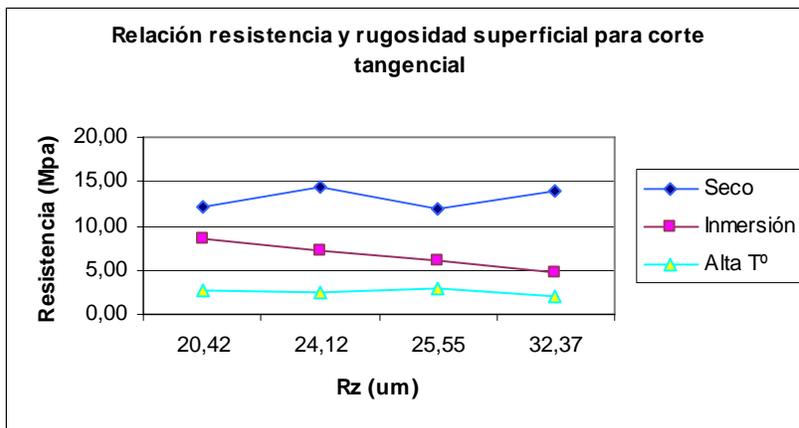


Figura 22. Relación resistencia y rugosidad superficial para corte tangencial

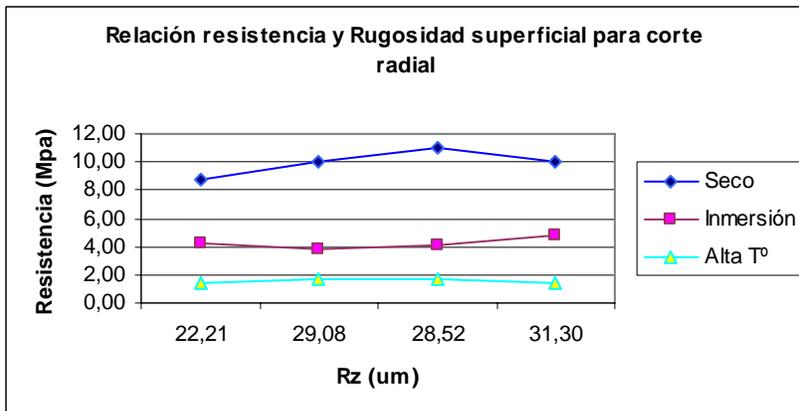


Figura 23. Relación resistencia y rugosidad superficial para corte radial

### 5.2.1 Influencia de la velocidad de avance y tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco

A continuación se muestran los factores que afectaron la resistencia de las probetas ensayadas en seco, como son la velocidad de avance y tipos de corte. La mayor resistencia, para el caso de velocidad de avance, fue de 11,92 Mpa y para el caso del tipo de corte el tangencial fue el más resistente con 13,92 Mpa.

La tabla ANOVA presentada en el cuadro 9 permite conocer que factores estudiados influyen en forma significativa sobre la resistencia mecánica.

Cuadro 9. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco con 2 factores

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>B : Tipos de Corte</b>	99,777	1	99,777	28,9	0
<b>A : Vf</b>	17,3167	3	5,77224	1,67	0,1909
<b>RESIDUOS</b>	120,851	35	3,45288		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	237,944	39			

Un p-valor menor a 0,05 indica influencias estadísticas significativas; por lo tanto al ver los resultados, se puede afirmar que la resistencia mecánica se ve afectada en forma significativa por el tipo de corte y al contrario, no está afectada por la velocidad de avance, con un nivel de confianza estadístico del 95%.



Figura 24. Probetas ensayadas en seco

#### 5.2.1.1 Influencia de la velocidad de avance sobre la Resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco

En este caso, el factor velocidad de avance no afectó significativamente la resistencia mecánica en los ensayos de probetas en seco, apreciándose en la figura 25.

Estos resultados se pueden deber a que la rugosidad superficial generado con las velocidades de avance, no influyó significativamente sobre la resistencia de la unión, ya que para las 4 condiciones de maquinado las resistencias obtenidas fueron muy similares.

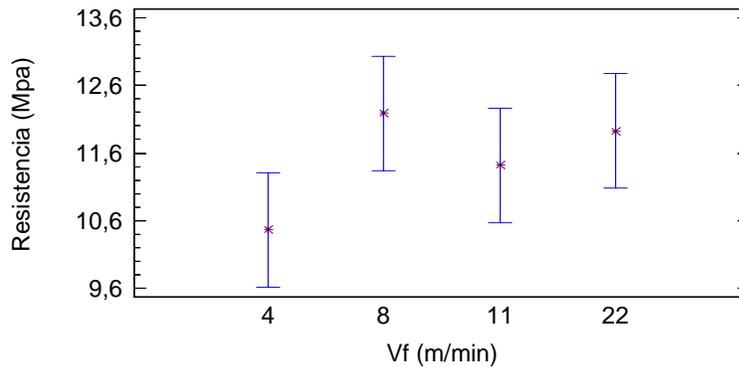


Figura 25. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance

### 5.2.1.2 Influencia del tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco

Los resultados obtenidos afirman que el tipo de corte tangencial y radial afecta en forma significativa la resistencia mecánica de ensayo de probetas en seco, con un nivel de confianza estadístico del 95%.

El factor tipos de corte registró diferencias significativas, siendo el corte tangencial el que presentó mayor resistencia con 13,07 Mpa promedio, al contrario de el corte radial que tubo un promedio de 9.9 Mpa. (Figura 26)

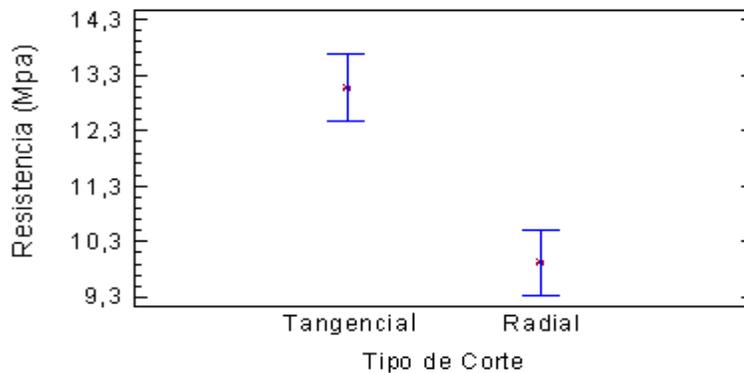


Figura 26. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte

Para el caso del tipos de corte, esto se puede explicar por la estructura anatómica presente en cada tipo de corte como lo indica Kutscha y Caster (1987) citado por Gallardo J. (1999), el cual menciona que los factores que afectan la calidad de la unión dentada son las características microscópicas que muestran las mayores

relaciones con la pérdida de resistencia. Además, la presencia de micro fisuras (fisuras microscópicas) hasta la presencia de pelusillas de fibras sobre la superficie son defectos que influyen en las características del encolado.

Los datos de resistencia que se obtuvieron para cada tipo de corte muestran una mayor resistencia en la unión en madera tangencia que radial, donde la resistencia de la unión de madera radial fue de un 35% menor con respecto a la unión de la madera de corte tangencial. Esto fue producido por la densidad de la madera, ya que la madera de corte radial presentó una densidad menor a la de madera de corte tangencial, afectando la resistencia de la unión al tratarse de madera de más baja densidad.

### 5.2.2 Influencia de la velocidad de avance y tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de inmersión

A continuación se analizan los factores que afectan la resistencia mecánica de las probetas con tratamiento en inmersión, como son la velocidad de avance y tipos de corte. También presenta el error estándar de cada media, lo cual es una medida de su variabilidad en la muestra.

La Media para los cuatro condiciones de maquinado fue de 5,42 Mpa, para el caso de velocidad de avance de 4 m/min. la media de resistencia fue de 6,37 Mpa y para 22 m/min. la media de resistencia fue de 4,78 Mpa, con esto se puede decir que los valores de resistencia obtenidos no son muy diferentes para una velocidad de avance a otra.

La tabla ANOVA presentada en el cuadro 10 permite conocer que factores estudiados influyen en forma significativa sobre la resistencia mecánica en probetas con tratamiento en inmersión.

Cuadro 10. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en inmersión con 2 factores

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>A:Vf</b>	14,2815	3	4,76049	0,51	0,6812
<b>B:Tipos de Corte</b>	57,2166	1	57,2166	6,07	0,0188
<b>RESIDUOS</b>	329,836	35	9,4239		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	401,335	39			

Como se puede observar en el cuadro, la velocidad de avance (Vf) no afecta significativamente sobre la resistencia mecánica de las probetas. Al contrario de la velocidad de avance, el tipo de corte donde el p-valor resulto ser menor que 0,05 lo cual nos indica que existe relación entre la resistencia y esta variable.



Figura 27. Probetas ensayadas con tratamiento de inmersión

### 5.2.2.1 Influencia de la velocidad de avance sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de Inmersión

La influencia producida por la velocidad de avance sobre la resistencia mecánica de cizalle se analizarán a continuación. En este caso los datos arrojados muestran que no existe ninguna relación entre estas variables. (Figura 28)

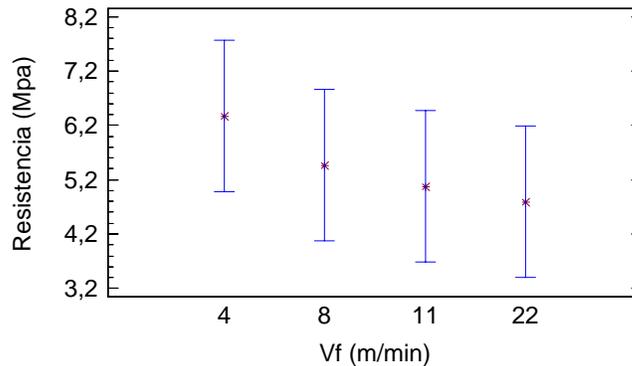


Figura 28. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance

Las medias de resistencia entre una velocidad de avance de 4 m/min. y 22 m/min. no tienen una diferencia notable. Esto, que ya fue explicado anteriormente, tiene relación a que la rugosidad superficial que fueron generadas por las diferentes velocidades de avance no afectó la resistencia mecánica de la unión.

### 5.2.2.2 Influencia del tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de Inmersión

En la figura 29 se puede observar que el tipos de corte si afectó significativamente la resistencia mecánica en ensayos de cizalle para el tratamiento de inmersión.

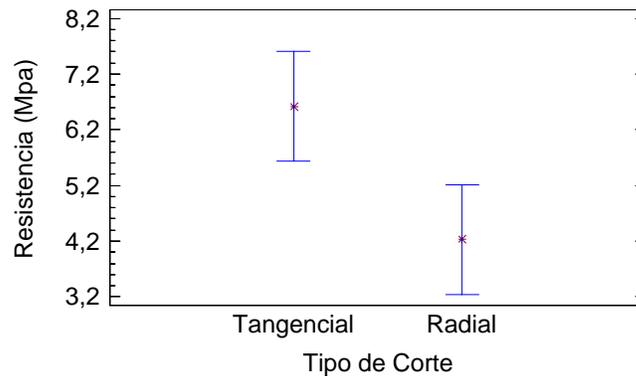


Figura 29. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte

### 5.2.3 Influencia de la velocidad de avance y tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de alta temperatura

La tabla ANOVA presentada en el cuadro 11 permite conocer que factores estudiados influyen en forma significativa sobre la resistencia mecánica en probetas con tratamiento en inmersión.

Cuadro 11. ANOVA para resistencia mecánica de ensayo de probetas en alta temperatura con 2 factores

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>A : Tipos de Corte</b>	9,25444	1	9,25444	25,44	0
<b>B : Vf</b>	1,67969	3	0,559897	1,54	0,2215
<b>RESIDUOS</b>	12,7307	35	0,363733		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	23,6648	39			

Los datos presentados muestra cuales variables afectan significativamente sobre la resistencia mecánica de la unión, para el caso de la velocidad de avance volvió a repetirse el caso de los tratamientos anteriores, donde no hubo relación significativa entre estas variables.

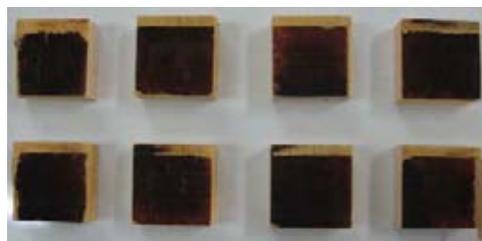


Figura 30. Probetas ensayadas con tratamiento de alta temperatura

### 5.2.3.1 Influencia del tipos de corte sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de alta temperatura

El tipos de corte de corte Tangencial tuvo una mayor resistencia en la unión que el radial con un promedio de 2,49 Mpa, (Figura 31) esto puede ser explicado por las diferencias anatómicas que existen entre cada corte.

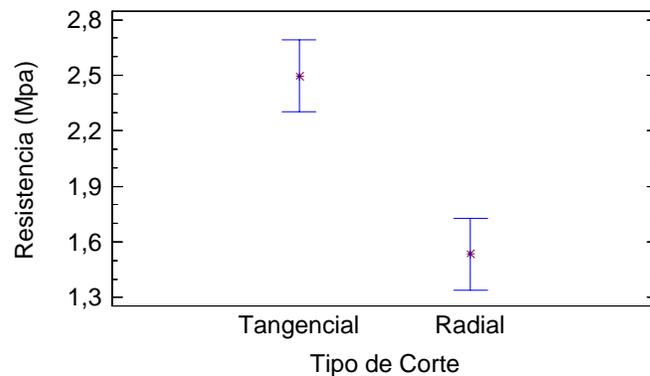


Figura 31. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para ambos tipos de corte

### 5.2.3.2 Influencia de la velocidad de avance sobre la Resistencia mecánica de probetas con tratamiento de alta temperatura

La figura 32 muestra la influencia producida por la velocidad de avance sobre la resistencia mecánica de cizalle de las piezas. En este caso los datos arrojados muestran que no existe ninguna relación entre estas variables, las medias de resistencia entre una velocidad de avance de 4 m/min. con 2,0 Mpa y 22 m/min. con 1,7 Mpa, no presentan una diferencia mayor.

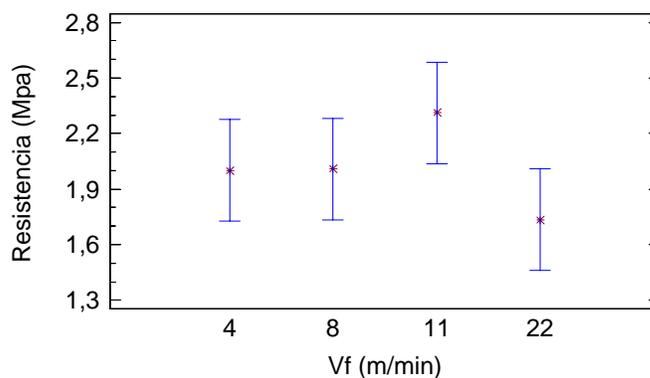


Figura 32. Promedios de resistencia con intervalos de confianza al 95%, para distintas velocidades de avance

## 6. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que la rugosidad superficial está de acuerdo a la bibliografía consultada, en el sentido que el incremento del espesor de viruta degrada la calidad de la superficie resultante.

Se definió valores de rugosidad superficial para *Pinus radiata*, a velocidades de avance diferentes y velocidad de rotación constante tanto en corte tangencial como radial, con valores promedios de 27,7  $\mu\text{m}$  y 25,6  $\mu\text{m}$  respectivamente.

Al observar la relación que existe entre la rugosidad superficial y resistencia mecánica se puede observar una leve tendencia a disminuir la resistencia mecánica a medida que aumenta el espesor de viruta, una mayor rugosidad genera superficies de menos calidad lo que provoca una baja en la resistencia de la unión, al contrario de una rugosidad menor genera uniones de mejor calidad.

Los mejores resultados de resistencia en la unión se obtuvieron, para el caso de madera tangencial, procesando a una velocidad de avance de 8 m/min y un espesor de viruta de 0,16 mm con una resistencia de 14,40 Mpa y para el caso de madera radial se generó mejor resistencia con una velocidad de avance de 11 m/min y un espesor de viruta de 0,22 mm con una resistencia de 10,97 Mpa.

Se observa un efecto de la densidad de la madera en la resistencia de la unión, a mayor densidad se generó mayor resistencia y a menor densidad se generó menor resistencia. Para el caso de madera tangencial, la resistencia fue de 13,08 Mpa con una densidad promedio de 0,402 grs/cm<sup>3</sup> y para madera radial la resistencia fue menor con 9,92 Mpa con una densidad promedio de la madera de 0.376 grs/cm<sup>3</sup>.

La resistencia de la unión también fue afectada por el contenido de humedad, un aumento del contenido de humedad hizo disminuir la resistencia. Para el caso de la madera de corte tangencial la resistencia de la unión fue de 13,08 Mpa con un contenido de humedad de 11,8%, y para madera de corte radial la resistencia fue de 9,92 Mpa con un contenido de humedad de 12.3%.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A.; Vega, M. 2004.** Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *pinus radiata* D. Don. Bosque (Chile), Volumen 25 N° 3, diciembre 2004, 25-32 p.
- ASTM D5751-95 1995.** Standard Specification for Adhesives used for Laminate Joints in Non Structural Lumber Products. ASTM Committee D-14 on adhesives. 8 p.
- Diaz-vaz J.; Cuevas H. 1982.** Ensayos mecánicos de la madera. Valdivia, Publicación docente. Universidad Austral de Chile. 44 p.
- Gallardo J. 1999.** Orientación de los anillos de crecimiento y resistencia a flexión en uniones dentadas, en pino radiata. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 34 p.
- López E.; Cavazos R.; Delgado M. 2003.** Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. División de Ingeniería Mecánica, FIME-UANL, México. 62-68 p.
- Martínez J. 1994.** Manual de fresas y cuchillos para madera. Santiago, Instituto Forestal. 111 p.
- Nutsch W. 2000.** Tecnología de la madera y del mueble; 1era ed. Barcelona, Reverté, S.A. 301 p.
- Poblete H. 2001.** Tableros de partículas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 177 pp.
- Poblete H.; Cuevas, H. 1998.** Uniones endentadas y de canto con *Pinus radiata*: experiencia sobre su calidad. Bosque 19 (2): 77-84 p.
- Poblete H. 1978.** Uniones de madera con adhesivos. Publicación técnica N° 1. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales.
- Vega M. 2004.** Comportamiento de madera de *pinus radiata* D. Don. frente a diferentes condiciones de fresado. Magíster Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales.
- Vignote S.; Jiménez, F. 2000.** Tecnología de la madera. 2da ed. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 337 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Abstract**

## **ABSTRACT**

The objective of the study is influence of the surface roughness with several conditions of machining radiate pine in the resistance to the shears in unions of singing in the planing. They with that objective were carried out rehearsals in the Institute of Technology of Forests Products of the Southern University from Chile, with graduates prepared of such way that the influential variables in the resistance of the well-known union are partially controlled in order to manage the surface roughness and the type of cut like only variable.

The study was carried out with several speeds of advance of 4, 8, 11 22 m/min with speed of constant rotation and for cut tangential and radial.

As for the influence of the speed of advance on the surface roughness allows to confirm the theory, since an increment of the speed of advance generates surfaces of inferior quality for speeds of constant rotation.

As a result of the analysis was not influences of the surface roughness on the resistance to the shears in the unions of singing. For the case of the resistance [versus] type of cut was observed a significant decrease of the resistance to the shears for the unions of singing in radial cut in relation to the cut tangential.

These results allow contributing to improve the process of machining in the generation of unions of singing and the data could be used as reference in order to generate products of better quality.

Key words: surface roughness, shears, unions of singing.

## **ANEXO 2**

### **Valores de la madera seleccionada**

1. Contenido de humedad
2. Densidad de la madera
3. Probeta de cizalle
4. Requerimientos de ensayo

## 1. Contenido de humedad

Cuadro 1a. Datos de contenido de humedad en madera tangencial

Probeta	Peso Húmedo (grs.)	Peso Seco (grs.)	Cont. Humedad (%)
1	11,70	10,44	12,05
2	11,16	9,79	13,94
3	12,08	10,91	10,71
4	12,22	10,81	13,08
5	13,08	11,79	10,96
6	10,81	9,64	12,14
7	11,67	10,51	11,02
8	12,07	10,94	10,32
9	10,85	9,82	10,51
10	10,73	9,71	10,52
11	11,39	10,05	13,31
12	12,44	11,02	12,87
13	11,60	10,49	10,60
14	11,97	10,56	13,33
15	12,61	11,32	11,37
16	11,09	9,85	12,57
17	12,17	11,03	10,36
18	11,69	10,44	11,99
19	11,69	10,25	14,07
20	11,80	10,38	13,71
21	12,80	11,55	10,80
22	10,76	9,51	13,08
23	12,54	11,12	12,84
24	10,30	9,32	10,50
25	11,56	10,18	13,58
26	12,37	11,18	10,60
27	12,30	10,93	12,47
28	11,90	10,60	12,30
29	11,36	10,07	12,89
30	11,59	10,45	10,91
31	10,94	9,90	10,50
32	10,06	9,14	10,06
33	12,46	11,14	11,89
34	12,35	11,13	11,01
35	12,35	11,14	10,92
36	11,99	10,82	10,81
37	11,78	10,64	10,73
38	12,24	10,88	12,57
39	11,05	9,76	13,23
40	10,88	9,80	11,01

Cuadro 1b. Datos de contenido de humedad en madera radial

Probeta	Peso Húmedo (grs.)	Peso Seco (grs.)	Cont. Humedad (%)
1	11,03	9,67	14,10
2	10,55	9,32	13,24
3	10,68	9,66	10,60
4	10,91	9,56	14,14
5	12,30	11,05	11,27
6	9,91	8,67	14,30
7	12,13	10,66	13,79
8	12,24	10,76	13,70
9	11,44	9,98	14,62
10	12,32	11,05	11,54
11	10,77	9,74	10,60
12	9,53	8,38	13,77
13	9,42	8,26	14,10
14	9,91	8,94	10,79
15	11,63	10,13	14,83
16	10,49	9,47	10,78
17	12,19	10,74	13,47
18	11,11	9,96	11,58
19	9,31	8,23	13,17
20	10,61	9,32	13,88
21	10,52	9,24	13,83
22	10,68	9,68	10,34
23	10,56	9,53	10,87
24	10,81	9,78	10,53
25	10,98	9,94	10,44
26	12,33	10,84	13,78
27	9,69	8,50	13,96
28	14,51	12,94	12,15
29	11,42	10,04	13,73
30	10,95	9,93	10,36
31	11,22	9,83	14,19
32	11,18	10,13	10,46
33	10,60	9,57	10,83
34	10,89	9,86	10,50
35	10,50	9,53	10,21
36	12,35	11,04	11,90
37	12,26	11,04	11,12
38	9,62	8,46	13,79
39	10,77	9,76	10,31
40	10,83	9,75	11,10

## 2. Densidad de la madera

Cuadro 2a. Datos densidad Básica madera tangencial

Probeta	Peso probeta (grs.)	Ancho (cm.)	Espesor (cm.)	Largo (cm.)	Volumen (cm3)	Densidad (grs./cm3)
1	10,44	2,2142	2,208	5,31	25,96	0,402
2	9,792	2,1779	2,197	5,26	25,17	0,389
3	10,914	2,3309	2,1812	5,36	27,25	0,400
4	10,807	2,2186	2,1978	5,25	25,60	0,422
5	11,787	2,2924	2,2004	5,41	27,29	0,432
6	9,64	2,1348	2,1953	5,35	25,07	0,384
7	10,511	2,2949	2,196	5,32	26,81	0,392
8	10,936	2,2325	2,2	5,41	26,57	0,412
9	9,818	2,318	2,1903	5,28	26,81	0,366
10	9,707	2,2602	2,1892	5,33	26,37	0,368
11	10,051	2,1927	2,1993	5,3	25,56	0,393
12	11,019	2,2285	2,1994	5,31	26,03	0,423
13	10,49	2,2445	2,1998	5,31	26,22	0,400
14	10,561	2,1786	2,1899	5,27	25,14	0,420
15	11,324	2,2676	2,1705	5,26	25,89	0,437
16	9,852	2,2337	2,1932	5,25	25,72	0,383
17	11,025	2,3395	2,2151	5,38	27,88	0,395
18	10,435	2,2572	2,1965	5,31	26,33	0,396
19	10,247	2,2138	2,194	5,28	25,65	0,400
20	10,375	2,2155	2,2033	5,27	25,73	0,403
21	11,554	2,2672	2,2085	5,39	26,99	0,428
22	9,513	2,1642	2,1954	5,27	25,04	0,380
23	11,117	2,2233	2,178	5,33	25,81	0,431
24	9,323	2,2312	2,203	5,37	26,40	0,353
25	10,18	2,2215	2,198	5,29	25,83	0,394
26	11,183	2,2766	2,18	5,32	26,40	0,424
27	10,934	2,2746	2,1899	5,31	26,45	0,413
28	10,599	2,185	2,1804	5,32	25,35	0,418
29	10,065	2,2122	2,1918	5,31	25,75	0,391
30	10,446	2,291	2,1853	5,34	26,73	0,391
31	9,899	2,211	2,1799	5,29	25,50	0,388
32	9,144	2,2546	2,1706	5,33	26,08	0,351
33	11,139	2,2799	2,182	5,28	26,27	0,424
34	11,128	2,2735	2,1824	5,33	26,45	0,421
35	11,135	2,2636	2,1915	5,26	26,09	0,427
36	10,819	2,2459	2,1872	5,3	26,03	0,416
37	10,638	2,2606	2,1725	5,31	26,08	0,408
38	10,876	2,2379	2,1913	5,28	25,89	0,420
39	9,759	2,2471	2,1976	5,24	25,88	0,377
40	9,796	2,3094	2,1845	5,33	26,89	0,364

Cuadro 2b. Datos densidad Básica madera radial

Probeta	Peso probeta (grs.)	Ancho (cm.)	Espesor (cm.)	Largo (cm.)	Volumen (cm3)	Densidad (grs./cm3)
1	9,67	2,07	2,39	5,23	25,87	0,374
2	9,32	2,06	2,24	5,24	24,18	0,385
3	9,66	2,36	2,06	5,19	25,23	0,383
4	9,56	2,28	2,06	5,23	24,56	0,389
5	11,05	2,28	2,06	5,34	25,08	0,441
6	8,67	2,22	2,07	5,25	24,13	0,360
7	10,66	2,36	2,06	5,24	25,47	0,418
8	12,37	2,25	2,08	5,19	24,29	0,509
9	10,76	2,23	2,06	5,11	23,47	0,458
10	9,98	2,19	2,06	5,2	23,46	0,425
11	11,05	2,35	2,07	5,24	25,49	0,433
12	8,12	2,24	2,08	5,18	24,13	0,336
13	9,74	2,36	2,07	5,19	25,35	0,384
14	12,24	2,25	2,06	5,18	24,01	0,510
15	8,38	2,22	2,06	5,18	23,69	0,354
16	8,26	2,2	2,08	5,18	23,70	0,348
17	8,94	2,32	2,06	5,21	24,90	0,359
18	10,13	2,19	2,07	5,2	23,57	0,430
19	9,47	2,31	2,06	5,12	24,36	0,389
20	12,92	2,35	2,06	5,27	25,51	0,506
21	10,74	2,38	2,06	5,24	25,69	0,418
22	9,96	2,34	2,06	5,23	25,21	0,395
23	8,23	2,27	2,06	5,18	24,22	0,340
24	8,07	2,27	2,07	5,2	24,43	0,330
25	9,32	2,42	2,06	5,25	26,17	0,356
26	9,24	2,41	2,07	5,26	26,24	0,352
27	9,68	2,31	2,06	5,23	24,89	0,389
28	9,53	2,26	2,08	5,26	24,73	0,385
29	9,78	2,3	2,06	5,23	24,78	0,395
30	8,06	2,23	2,06	5,22	23,98	0,336
31	9,94	2,34	2,06	5,22	25,16	0,395
32	10,84	2,37	2,06	5,26	25,68	0,422
33	8,50	2,22	2,09	5,18	24,14	0,352
34	12,94	2,38	2,07	5,3	25,45	0,508
35	10,04	2,23	2,06	5,21	23,93	0,419
36	9,93	2,32	2,07	5,2	24,97	0,397
37	9,83	2,17	2,06	5,24	23,42	0,419
38	8,18	2,25	2,08	5,18	24,24	0,338
39	13,40	2,39	2,05	5,32	26,07	0,514
40	10,13	2,33	2,09	5,15	25,08	0,404

Cuadro 2c. Datos densidad normal madera tangencial

Probeta	Peso probeta (grs.)	Ancho (cm.)	Espesor (cm.)	Largo (cm.)	Volumen (cm3)	Densidad (grs./cm3)
1	11,698	2,1956	2,1851	5,09	24,42	0,479
2	11,157	2,1566	2,1679	5,1	23,84	0,468
3	12,083	2,2391	2,1741	5,13	24,97	0,484
4	12,221	2,197	2,1809	5,09	24,39	0,501
5	13,079	2,185	2,1823	5,12	24,41	0,536
6	10,81	2,0777	2,1643	5,1	22,93	0,471
7	11,669	2,2344	2,1757	5,08	24,70	0,473
8	12,065	2,18	2,1718	5,12	24,24	0,498
9	10,85	2,2352	2,174	5,09	24,73	0,439
10	10,728	2,2021	2,1602	5,11	24,31	0,441
11	11,389	2,1367	2,163	5,08	23,48	0,485
12	12,437	2,1677	2,1741	5,09	23,99	0,518
13	11,602	2,1409	2,1664	5,1	23,65	0,490
14	11,969	2,0985	2,1657	5,1	23,18	0,516
15	12,611	2,2171	2,1639	5,1	24,47	0,515
16	11,09	2,1771	2,1789	5,09	24,15	0,459
17	12,167	2,2521	2,1794	5,13	25,18	0,483
18	11,686	2,1734	2,168	5,1	24,03	0,486
19	11,689	2,1247	2,1781	5,08	23,51	0,497
20	11,797	2,1564	2,1644	5,05	23,57	0,501
21	12,802	2,2034	2,1666	5,12	24,44	0,524
22	10,757	2,1048	2,1697	5,06	23,11	0,466
23	12,544	2,1727	2,1662	5,1	24,00	0,523
24	10,302	2,1789	2,175	5,09	24,12	0,427
25	11,562	2,1593	2,169	5,09	23,84	0,485
26	12,368	2,2177	2,1686	5,11	24,58	0,503
27	12,297	2,1701	2,174	5,08	23,97	0,513
28	11,903	2,1251	2,1713	5,08	23,44	0,508
29	11,362	2,1388	2,1673	5,08	23,55	0,483
30	11,586	2,2323	2,1714	5,08	24,62	0,471
31	10,938	2,1529	2,1785	5,08	23,83	0,459
32	10,064	2,1465	2,1582	5,1	23,63	0,426
33	12,463	2,2374	2,1661	5,08	24,62	0,506
34	12,353	2,235	2,1698	5,11	24,78	0,498
35	12,351	2,2028	2,1674	5,08	24,25	0,509
36	11,989	2,1974	2,1616	5,1	24,22	0,495
37	11,779	2,2221	2,1652	5,1	24,54	0,480
38	12,243	2,1695	2,1696	5,09	23,96	0,511
39	11,05	2,1634	2,1745	5,05	23,76	0,465
40	10,875	2,2286	2,1684	5,09	24,60	0,442

Cuadro 2d. Datos densidad normal madera radial

Probeta	Peso probeta (grs.)	Ancho (cm.)	Espesor (cm.)	Largo (cm.)	Volumen (cm3)	Densidad (grs./cm3)
1	11,031	2,04	2,24	5,12	23,40	0,471
2	10,554	2,04	2,16	5,07	22,34	0,472
3	10,681	2,04	2,22	5,07	22,96	0,465
4	10,913	2,04	2,16	5,09	22,43	0,487
5	12,299	2,05	2,17	5,12	22,78	0,540
6	9,914	2,04	2,15	5,12	22,46	0,441
7	12,131	2,04	2,23	5,12	23,29	0,521
8	12,235	2,04	2,16	5,02	22,12	0,553
9	11,436	2,05	2,14	5,09	22,33	0,512
10	12,323	2,05	2,22	5,06	23,03	0,535
11	10,768	2,06	2,21	5,06	23,04	0,467
12	9,532	2,04	2,16	5,11	22,52	0,423
13	9,421	2,05	2,13	5,11	22,31	0,422
14	9,906	2,06	2,22	5,06	23,14	0,428
15	11,627	2,04	2,15	5,06	22,19	0,524
16	10,493	2,04	2,2	5,12	22,98	0,457
17	12,191	2,04	2,27	5,12	23,71	0,514
18	11,108	2,05	2,22	5,1	23,21	0,479
19	9,314	2,03	2,15	5,08	22,17	0,420
20	10,61	2,04	2,29	5,14	24,01	0,442
21	10,521	2,04	2,28	5,12	23,81	0,442
22	10,682	2,04	2,17	5,1	22,58	0,473
23	10,561	2,05	2,13	5,1	22,27	0,474
24	10,805	2,05	2,15	5,09	22,43	0,482
25	10,978	2,03	2,18	5,1	22,57	0,486
26	12,334	2,04	2,27	5,12	23,71	0,520
27	9,689	2,04	2,17	5,11	22,62	0,428
28	11,416	2,05	2,15	5,06	22,30	0,512
29	10,954	2,05	2,18	5,1	22,79	0,481
30	11,219	2,05	2,09	5,1	21,85	0,513
31	9,286	2,04	2,16	5,11	22,52	0,412
32	11,184	2,04	2,21	5	22,54	0,496
33	10,603	2,04	2,21	5,04	22,72	0,467
34	10,89	2,02	2,23	5,11	23,02	0,473
35	10,503	2,02	2,22	5,06	22,69	0,463
36	12,35	2,03	2,22	5,08	22,89	0,539
37	12,264	2,04	2,2	5,13	23,02	0,533
38	9,624	2,02	2,16	5,12	22,34	0,431
39	10,771	2,02	2,16	5,12	22,34	0,482
40	10,83	2,02	2,22	5,1	22,87	0,474

### 3. Probeta de cizalle

Cuadro 3a. Dimensiones y tolerancias de las probetas de cizalle

<b>Dimensiones</b>	<b>Medidas</b>	<b>Tolerancia</b>
Ancho probeta	2" (50,8 mm)	0,32" (0,79 mm)
Longitud de laminación individual	1,75" (44,4 mm)	0,32" (0,79 mm)
Espesor de laminación individual (recomendada)	0,75" (19 mm)	0,010" (0,25 mm)
Espesor de laminación individual (alternativa)	0,688" (17,5mm)	0,010" (0,25 mm)
Espesor total de probeta	1,5" (38,1mm)	0,32" (0,79 mm)
Traslape de laminación	1,5" (38,1mm)	0,32" (0,79 mm)

(Fuente: ASTM D-5751-95)

#### 4. Requerimientos de ensayo mínimo

Cuadro 4a. Resultados y requerimientos de ensayo mínimo de probetas de corte tangencial para cada tratamiento

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 1							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	12,19	60	6,96	SI	88,7	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	8,50	30	3,48	SI	32,5	30	SI
Alta T° (220°F)	2,65	40	4,64	NO	6,5	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 2							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	14,40	60	6,96	SI	79	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	7,18	30	3,48	SI	24	30	NO
Alta T° (220°F)	2,37	40	4,64	NO	4,5	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 3							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	11,88	60	6,96	SI	92,6	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	6,07	30	3,48	SI	50	30	SI
Alta T° (220°F)	2,91	40	4,64	NO	6,1	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 4							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	13,86	60	6,96	SI	90,6	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	4,75	30	3,48	SI	30,75	30	SI
Alta T° (220°F)	2,07	40	4,64	NO	4,6	40	NO

Si = Si Cumple con la norma  
 No = No cumple con la norma

Cuadro 4b. Resultados y requerimientos de ensayo mínimo de probetas de corte radial para cada tratamiento

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 1							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	8,74	60	6,84	SI	83	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	4,26	30	3,42	SI	26	30	NO
Alta T° (220°F)	1,36	40	4,56	NO	3,1	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 2							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	9,99	60	6,84	SI	98	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	3,75	30	3,42	SI	23	30	NO
Alta T° (220°F)	1,66	40	4,56	NO	3	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 3							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	10,97	60	6,84	SI	79	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	4,10	30	3,42	SI	16,4	30	NO
Alta T° (220°F)	1,73	40	4,56	NO	2,5	40	NO

Requerimiento de Ensayo Mínimo Tratamiento 4							
Clasificación del Rendimiento y Condiciones de Exposición	Resistencia (Mpa)				Falla Madera %		
	Promedio Grupo (Mpa)	Requerimiento (%)	Valor Obtenido (Mpa)		Promedio Grupo (%)	Requerimiento (%)	
Uso Seco:							
Curado ( Seco)	10,00	60	6,84	SI	95	60	SI
Ciclo de 3 Inmersiones	4,09	30	3,42	SI	16	30	NO
Alta T° (220°F)	1,41	40	4,56	NO	2,4	40	NO

Si = Si Cumple con la norma  
 No = No cumple con la norma

### **ANEXO 3**

#### **Análisis Estadístico**

1. Contenido de humedad
2. Densidad
3. Rugosidad Superficial
4. Resistencia Mecánica

## 1. Contenido de humedad

Cuadro 1a. Parámetro descriptivos de contenido de humedad para cada tipo de corte

	Contenido de Humedad para cada tipos de corte	
	Tangencial	Radial
	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad (%)
Promedio	11,8	12,3
Mínimo	10,06	10,2
Máximo	14,07	14,8
Total muestra	40	40
Desviación Estándar	1,21	1,61

## 2. Densidad

Cuadro 2a. Parámetros descriptivos de densidad para cada tipo de corte

	Densidad para cada tipos de corte			
	Tangencial		Radial	
	Densidad Norma (grs./cm3)	Densidad Básica (grs./cm3)	Densidad Norma (grs./cm3)	Densidad Básica (grs./cm3)
Promedio	0,486	0,401	0,478	0,376
Mínimo	0,426	0,351	0,412	0,330
Máximo	0,536	0,437	0,553	0,414
Total muestra	40	40	40	40
Desviación Estándar	0,027	0,022	0,038	0,049

### 3. Análisis Rugosidad superficial

#### - Análisis descriptivo

Cuadro 3a. Resumen de medidas estadísticas de rugosidad superficial según velocidad de avance y tipo de corte

Factor	Nivel	Media	Límite Estándar	Inferior	Superior
Vf (m/min.)	4	21,31	4,30	7,63	35,00
	8	26,60	4,30	12,92	40,29
	11	27,04	4,30	13,35	40,72
	22	31,83	4,30	18,15	45,52
Tipos de Corte	Tangencial	25,62	3,04	15,94	35,29
	Radial	27,78	3,04	18,10	37,46
Media Total		26,70			

#### - Análisis inferencial

Cuadro 3b. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor velocidad de avance

Velocidad de Avance (m/min.)	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	21,3142	0,76422	X
8	26,6044	0,76422	X
11	27,0356	0,76422	X
22	31,8337	0,76422	X
Contraste	Diferencias	+/- Límites	
4-8	*-5,2902	2,91513	
4-11	*-5,7214	2,91513	
4-22	*-10,5195	2,91513	
8-11	-0,4312	2,91513	
8-22	*-5,2293	2,91513	
11-22	*-4,7981	2,91513	

\*Indica una diferencia significativa

Cuadro 3c. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor tipos de corte

Tipos de Corte	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tangencial	25,615	0,540385	X
Radial	27,7789	0,540385	X
Contraste	Diferencias	mas menos Límites	
Tang-Rad	*-2,16385	1,55145	

\* Indica una diferencia significativa

#### 4. Resistencia mecánica

##### - Análisis descriptivo

Cuadro 4a. Resumen de medidas estadísticas de resistencia en seco para los diferentes factores que la afectan

Factor	Nivel	Límite Media	Límite Estándar	Inferior	Superior
<b>Vf (m/min.)</b>	<b>4</b>	10,46	0,587612	9,27	11,65
	<b>8</b>	12,18	0,587612	10,9	13,37
	<b>11</b>	11,41	0,587612	10,22	12,61
	<b>22</b>	11,92	0,587612	10,73	13,11
<b>Tipos de Corte</b>	<b>Tangencial</b>	13,07	0,415504	12,23	13,92
	<b>Radial</b>	9,91	0,415504	9,07	10,76
<b>Media Total</b>	40	11,49			

Cuadro 4b. Resumen de medidas estadísticas de resistencia en ciclo de inmersión para los diferentes factores que la afectan

Factor	Nivel	Límite Media	Límite Estándar	Inferior	Superior
<b>Vf (m/min.)</b>	<b>4</b>	6,374	0,970768	4,40	8,34
	<b>8</b>	5,462	0,970768	3,49	7,43
	<b>11</b>	5,078	0,970768	3,10	7,04
	<b>22</b>	4,788	0,970768	2,81	6,75
<b>Tipos de Corte</b>	<b>Tangencial</b>	6,6215	0,686436	5,22	8,01
	<b>Radial</b>	4,2295	0,686436	2,83	5,62
<b>Media Total</b>	40	5,4255			

Cuadro 4c. Resumen de medidas estadísticas de resistencia con tratamiento a alta temperatura para los diferentes factores que la afectan

Factor	Nivel	Límite Media	Límite Estándar	Inferior	Superior
<b>Vf (m/min.)</b>	<b>4</b>	2,00	0,190718	1,61	2,38
	<b>8</b>	2,00	0,190718	1,62	2,39
	<b>11</b>	2,31	0,190718	1,92	2,70
	<b>22</b>	1,73	0,190718	1,34	2,12
<b>Tipos de Corte</b>	<b>Tangencial</b>	2,49	0,134858	2,22	2,76
	<b>Radial</b>	1,53	0,134858	1,25	1,80
<b>Media Total</b>	40	2,01			

- **Análisis inferencial**

Cuadro 4d. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor velocidad de avance y su efecto sobre resistencia de probetas ensayadas en seco

Vf	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	10,464	0,587612	X
11	11,4185	0,587612	X
22	11,924	0,587612	X
8	12,187	0,587612	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>+/- Límites</b>
4-8	-1,723		2,24146
4-11	-0,9545		2,24146
4-22	-1,46		2,24146
8-11	0,7685		2,24146
8-22	0,263		2,24146
11-22	-0,5055		2,24146

\* Indica una diferencia significativa

Cuadro 4e. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor tipos de corte y su efecto sobre resistencia de probetas ensayadas en seco

Tipos de Corte	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Radial	9,919	0,415504	X
Tangencial	13,0777	0,415504	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>+/- Límites</b>
Tang-Rad	*3,15875		1,19292

\* Indica una diferencia significativa

Cuadro 4f. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor velocidad de avance y su efecto sobre resistencia de probetas con tratamiento de inmersión

Vf	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
22	4,788	0,970768	X
11	5,078	0,970768	X
8	5,462	0,970768	X
4	6,374	0,970768	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>+/- Límites</b>
4-8	0,912		3,70301
4-11	1,296		3,70301
4-22	1,586		3,70301
8-11	0,384		3,70301
8-22	0,674		3,70301
11-22	0,29		3,70301

\* Indica una diferencia significativa

Cuadro 4g. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor tipo de corte y su efecto sobre resistencia de probetas con tratamiento de inmersión

Tipos de Corte	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Radial	4,22	0,686436	X
Tangencial	6,62	0,686436	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>+/- Límites</b>
Tang-Rad	*2,392		1,97077

\* Indica una diferencia significativa

Cuadro 4h. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor tipo de corte y su efecto sobre resistencia de probetas con tratamiento de inmersión

Tipos de Corte	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Radial	1,5335	0,134858	X
Tangencial	2,4955	0,134858	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>+/- Límites</b>
Tang-Rad	*0,962		0,387179

\* Indica una diferencia significativa

Cuadro 4i. Comparaciones múltiples según método de Tukey con 95% de confianza, para el factor velocidad de avance

Vf	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
22	1,734	0,190718	X
4	2,002	0,190718	X
8	2,009	0,190718	X
11	2,313	0,190718	X
<b>Contraste</b>			
	<b>Diferencias</b>		<b>mas/menos Límites</b>
4-8	-0,007		0,727497
4-11	-0,311		0,727497
4-22	0,268		0,727497
8-11	-0,304		0,727497
8-22	0,275		0,727497
11-22	0,579		0,727497

\* Indica una diferencia significativa