



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Estudio del efecto de la inclinación de la fibra
en la resistencia a la tracción de uniones
dentadas en pino radiata**

Profesor Patrocinante: Sr. Héctor Cuevas.

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

Manuel Eduardo Castillo Fernández

Valdivia Chile 2003

CALIFICACIÓN DEL COMITE DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Héctor Cuevas D.	6.5
Informante:	Sr. Hernán Poblete W.	6.0
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera L.	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. Héctor Cuevas D.

Agradecimientos

Quisiera aprovechar esta ocasión para agradecer de manera especial a mis padres que durante toda mi vida me han entregado todo su amor y comprensión de manera incondicional, y a la vez todo su apoyo en cada proyecto que he emprendido.

También agradecer a mi profesor patrocinante, don Héctor Cuevas Doering, por su dedicación, preocupación, paciencia y su buena disposición durante todo este trabajo.

Por supuesto agradecer también a mis profesores informantes don Hernán Poblete y don Alfredo Aguilera 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 han sido excelentes personas.

Agradecer también en forma especial a mis hermanos, compañeros y amigos que de una u otra forma me apoyaron y me entregaron toda su ayuda y amistad.

A todos ellos muchas gracias.

... A mis queridos padres

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	3
2.1 Definiciones	3
2.2 Factores que afectan la unión	4
2.2.1 Forma del diente	4
2.2.2 Orientación de los anillos de crecimiento	4
2.2.3 Factores de la madera	5
2.2.4 Dirección de la fibra	5
2.2.5 Densidad	5
2.2.6 Elaboración de los dientes	6
2.2.7 Encolado de la unión	6
2.3 Resistencia mecánica	6
3. DISEÑO DE INVESTIGACION	7
3.1 Material	7
3.1.1 Madera	7
3.1.2 Adhesivo	7
3.1.3 Equipos	8
3.2 Método	11
3.2.1 Detección de la inclinación de la fibra	11
3.2.2 Dimensiones de las probetas	11
3.2.3 Tratamientos	12
3.2.4 Tamaño de la muestra	12
3.3 Cálculos	14
3.4 Tratamientos de resultados	14
3.4.1 Datos obtenidos	14
3.4.2 Evaluación de resultados	14
4. RESULTADOS	16
4.1 Evaluación estadística	16
4.2 Análisis de resultados	19
5. CONCLUSIONES	21

6. BIBLIOGRAFÍA

22

ANEXOS

Anexo1: Abstract

Anexo2: Valores de las probetas seleccionadas

Anexo3: Resultados estadísticos

RESUMEN EJECUTIVO

Se estudió la influencia de la inclinación de la fibra en la resistencia a la tracción de uniones dentadas elaboradas con pino radiata. 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 el ángulo de inclinación de la fibra.

El estudio fue realizado para ángulos de encuentro de 0° , 4° , 8° y 12° mediante la fabricación de uniones con las combinaciones $(0^\circ-0^\circ)$, $(0^\circ-4^\circ)$, $(0^\circ-8^\circ)$ y $(0^\circ-12^\circ)$.

Como resultado del análisis no se encontraron influencias del ángulo de inclinación de la fibra en la resistencia a tracción en las uniones con encuentros entre 0° y 8° , produciéndose una reducción significativa de la resistencia a tracción para las uniones realizadas con ángulo de 12° .

Las uniones fueron comparadas con madera sin unión y con fibra paralela al largo de la probeta, determinándose que la reducción de la resistencia a tracción es de alrededor de un 50% en las uniones.

Palabras clave: Unión dentada, inclinación de la fibra, tracción, pino radiata.

1. INTRODUCCION

La técnica de ensamblado por medio de uniones dentadas tiene un creciente potencial debido a la gran gama de aplicaciones que tiene esta unión como por ejemplo la fabricación de cerchas por medio del ensamblado de piezas en ángulo, vigas laminadas, tableros enlistonadas para muebles además de todos los posibles usos tanto estructurales como no estructurales. Actualmente existen diversos estudios técnicos sobre sus propiedades ya que por el creciente mercado que han obtenido las uniones dentadas de pino radiata es importante aumentar el conocimiento sobre esta técnica que es cada vez más utilizada.

Dentro de las variables que afectan las propiedades mecánicas de las uniones se encuentran los factores de fabricación de éstas y características propias de la madera como son la presencia de nudos, cambios de densidad, orientación de los anillos de crecimiento e inclinación de las fibras.

El presente trabajo pretende entregar conocimientos sobre la influencia de la inclinación de la fibra en la calidad de las uniones dentadas ya que este es un factor que no ha sido considerado de manera importante en estudios anteriores debido a que para su estudio es necesario la fabricación de uniones especiales, siendo generalmente utilizados para estos estudios uniones realizadas en procesos industriales lo que hace difícil la obtención de piezas con determinadas características en la dirección de sus fibras.

Se desea determinar la existencia de diferencias en la resistencia mecánica a la tracción en uniones dentadas de pino radiata ante el cambio de la dirección de la fibra, condición que se determinó utilizando probetas fabricadas en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, con esto se pretendió reflejar las mejores condiciones para los ensayos de forma que se puedan eliminar variables como las anteriormente señaladas, tendiendo así a dejar aislada la variable del ángulo de inclinación de la fibra.

El ensayo fue acotado a las inclinaciones de fibra de 0, 4, 8 y 12 grados, con los cuales se espera obtener resultados que sean suficientes para determinar tendencias dentro de los valores de resistencia a la tracción. Siendo objeto de estudio las combinaciones de ángulos [0° y 0°], [0° y 4°], [0° y 8°] y [0° y 12°].

En este contexto, se planteó como Objetivo: determinar la magnitud e influencia de la inclinación de la fibra sobre la calidad de uniones dentadas ante esfuerzo de tracción.

Siendo importante delimitar de forma precisa el objetivo general por medio de objetivos específicos con los cuales se debe cumplir, los cuales son:

- Detectar el ángulo de encuentro de la fibra que presente diferencia significativa en la resistencia a tracción.
- Determinar si la inclinación de la fibra debe ser considerada como uno de los factores que afectan de manera considerable la calidad de la unión dentada.

- Delimitar un rango de valores para la resistencia a tracción de las uniones dentadas en pino radiata según el ángulo de las fibras.

2. MARCO TEORICO

La técnica de uniones dentadas constituye actualmente un medio de gran potencial para mejorar el rendimiento de la materia prima en la industria del aserrado y elaboración de la madera, debido que permite valorizar piezas cortas de escaso valor o revalorizar piezas de tamaño comercial de baja calidad. Permitiendo la fabricación de elementos más complejos, con largos limitados solo a las capacidades de la maquinaria.

2.1 Definiciones

Según de la norma ASTM D-5572 “unión dentada” es: “la unión formada al pegar dos miembros pre-cortados en forma de dedos o listones”.

Finger-joints (Dedos unidos): Este término no alude a ningún producto en particular, sino que se refiere genéricamente a todas aquellos productos obtenidos a partir de uniones en forma de dedos que se efectúa en los extremos de los blocks para encastrarlos, encolarlos y prensarlos, es uno de los tipos de uniones más sencillos y resistentes.

En el sistema alemán se hacen los cortes en el espesor de la pieza (finger en el canto), mientras que en el americano se hacen en el ancho de las piezas (finger en la cara), como se aprecia en la figura 1 (Concejo federal de inversiones, 2001).



Figura 1. Ejemplo típico de unión dentada por sistema americano.

Adhesivo: Dentro de los adhesivos no estructurales se distinguen dos tipos: para uso seco y para uso húmedo, el primero esta formulado para trabajar bajo condiciones de humedad de la madera que no exceda el 16% y el otro debe producir una resistencia

y durabilidad para que el producto sirva bajo condiciones de contenido de humedad de la madera de un 16% o mayor (American Society for testing and materials, 1995).

2.2 Factores que afectan la unión

Dentro de los factores que afectan la calidad de la unión Karsulovic y León (1988) mencionan: La forma geométrica de los dientes, la orientación del ensamblado, factores inherentes a la madera como la humedad, densidad, inclinación de fibras y orientación de los anillos de crecimiento, además de los factores de fabricación como la elaboración de los dientes, encolado de la unión, presión de ensamble o de cierre, tiempo y temperatura.

2.2.1 Forma del diente

Selbo en 1963 desarrolló un método para producir uniones dentadas de una completa variedad de diseños experimentales. Estudió el efecto de la geometría del juntado en la aplicación de fuerza a tensión sobre un completo rango de dimensiones de uniones, para maderas blandas y maderas duras, presentando una discusión teórica en que la fuerza de la unión es expresada en términos de las dimensiones geométricas del dentado. De los datos obtenidos se concluye que una adecuada área de unión desarrolla una alta resistencia a despegarse, por lo que se desarrolló una geometría de dedos delgados para obtener el máximo de fuerza de la unión.

Según Karsulovic y León (1988), las pendientes suaves del flanco del diente permiten un nivel elevado de resistencias debido a la mayor superficie de adherencia entre ambas piezas, ya que su orientación se aproxima a la dirección de las fibras.

2.2.2 Orientación de los anillos de crecimiento

Gallardo (1999), para el caso de los anillos de Crecimiento y resistencia a flexión en uniones dentadas de pino radiata determinó, que a nivel de ángulos de encuentro de los anillos, a pesar de que se puede observar una leve tendencia a aumentar el valor de resistencia promedio a medida que aumenta el ángulo de encuentro, estadísticamente no se presentan diferencias significativas, por lo cual se recomienda no utilizar este criterio en forma exclusiva como predictor de la calidad de la unión dentada en términos de resistencia.

Además encontró que la mayor influencia se refleja en las propiedades de adhesión de la unión, la adhesión es función de la naturaleza y porosidad de la superficie de la madera; según sea la orientación de los anillos la superficie a encolar puede presentar distintas características que serán determinadas según la posición relativa de los elementos anatómicos.

2.2.3 Factores de la madera

Kutscha y Caster (1987), en un estudio sobre los factores de la calidad de la unión dentada, realizaron la unión utilizando radio frecuencia para el fraguado del adhesivo, para posteriormente ser examinada macro y microscópicamente en sus características con el fin de explicar la causa de las bajas resistencias.

La conclusión fue que las bajas propiedades se deben a la presencia de médula asociada a la madera y otros defectos en la proximidad de la unión como acebolladura y fibra irregular.

Agrupados los resultados se detectaron fallas en la unión con madera temprana, debido a que el adhesivo fue desplazado fuera de los dedos adyacentes y en madera tardía debido a la pobre penetración del adhesivo.

2.2.4 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. Se encontró igualmente 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 (Karsulovic y León, 1988).

2.2.5 Densidad

Según Karsulovic y León (1988), a nivel de la unión la densidad de la madera influye en cierta medida en las propiedades de encolabilidad y en las presiones admisibles de ensamblado. En el caso de una unión bien ejecutada se puede llegar a la situación que la pieza ensamblada se comporte como una madera compacta sin unión, tendiendo a fallar en la madera, fuera del ensamble. En este caso, resulta entonces que la densidad de la madera es la condicionante en la resistencia mecánica del elemento.

2.2.6 Elaboración de los dientes

Para Karsulovic y León (1988), la correcta ejecución del perfil de los dientes interviene significativamente en la eficiencia de la unión.

Para un buen acabado del diente, las herramientas no deben estar gastadas ni desafiladas. La falta de filo hace que las superficies resulten ligeramente quemadas por el calor de frotamiento, no permitiendo una buena adherencia de la cola.

Además, las herramientas gastadas arrancan el tejido celular, volviendo al encolado menos rígido.

2.2.7 Encolado de la unión

Para ejecutar uniones de alta resistencia es necesario obtener una alta calidad del encolado. Esto se logra: con superficies secas, limpias y sin daño superficial; un adhesivo de adecuado poder humectante aplicado en una película continua en los planos de unión evitando la presencia de resina en las superficies de los dientes. las superficies deben estar en íntimo contacto y mantenerse así durante el curado (Karsulovic y León, 1988).

2.3 Resistencia mecánica

Karsulovic y León (1988), determinan una reducción de las propiedades mecánicas de la madera con unión dentada con respecto a madera sin unión siendo para confieras de un 20% y para latifoliadas de un 40%, estos porcentajes pueden variar dependiendo de las muestras testigos con la cual se haga la comparación.

Además señalan que en términos ideales la resistencia del ensamble debería estar limitada por las propiedades del material y no por la unión que contiene, es decir es la madera y no la junta encolada el factor limitante (en este caso la fractura ocurre en la madera y no en la unión). Sin embargo, en términos reales, por lo general la unión induce un grado de debilitamiento a una pieza, siendo difícil de establecer una ley general y precisa referente a la tasa de reducción de resistencia que significa la unión en relación a la madera sin ella.

3. DISEÑO DE INVESTIGACION

3.1 Material

3.1.1 Madera

Se utilizó madera de *Pinus radiata* para confeccionar las probetas con la forma propuesta por la norma ASTM D 5572 y adaptando el ancho de manera tal de contar con diez planos de contacto (figura 2). Las dimensiones finales se muestran en la figura 8.

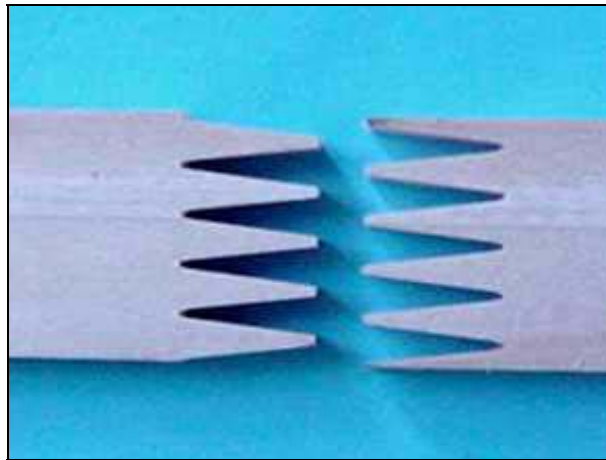


Figura 2. Planos de contacto del dentado

Se contó con madera de un contenido de humedad entre un 10 y 12%, libre de nudos, deterioros y defectos de maquinado, como grano astillado y marcas de rodillo, también libre de defectos de secado.

Como una forma de controlar la densidad de la madera se seleccionaron piezas con anillos de crecimiento de dimensiones similares, eliminando así la densidad como una variable de amplio rango dejándola con tendencia a un valor común.

3.1.2 Adhesivo

Las uniones fueron elaboradas utilizando Pegafix professional extra rápida de Henkel (adhesivo tipo PVA (Polivinil Acetato) formulado para uso seco). Adhesivo a base de dispersiones de polímeros en base acuosa resistente a temperaturas de hasta 80 °C, recomendando para su uso una presión de 5 Kg/cm² para una película de 150 g/m² y aplicando el adhesivo con temperaturas superiores a 5° C.

Se siguieron las instrucciones del fabricante del adhesivo respecto de las condiciones y procedimientos para la preparación y aplicación, al igual que para el prensado, ensamblado y curado del montaje.

3.1.3 Equipos

Para determinar la inclinación de la fibra se confeccionó un detector de inclinación de la fibra que corresponde a un instrumento que posee un elemento punzante en un extremo, el cual es clavado en la madera y al ser jalado del mango que gira en forma libre deja una marca al deslizarse por las fibras como lo muestra la figura 3. Esto permitió el trazado de las preprobetas con las inclinaciones de las fibras predeterminadas.

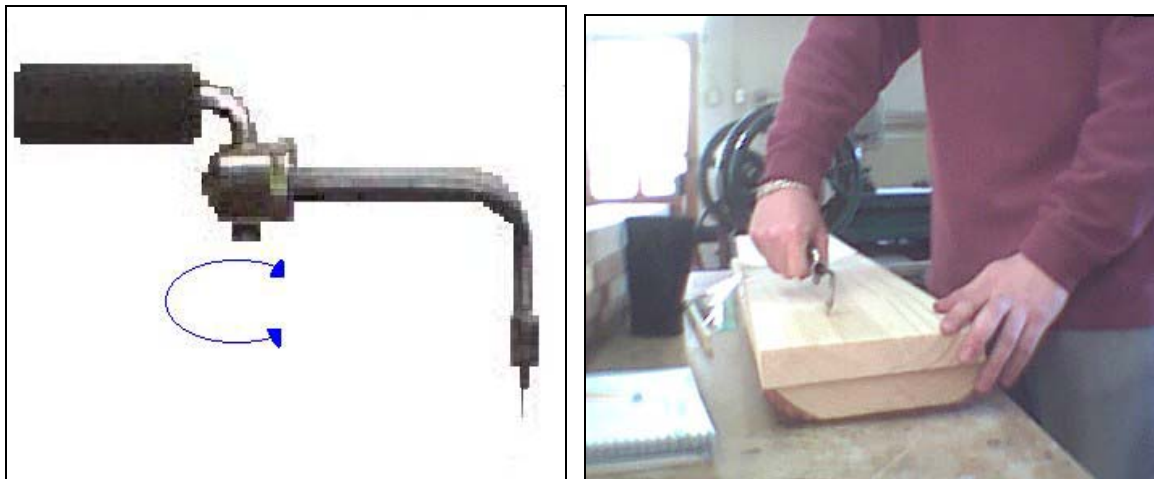


Figura 3. Detector de la inclinación de la fibra

El corte de las preprobetas y posterior dimensionado de las probetas se realizó en el banco de sierra de la figura 4, equipado con una sierra circular LEUCO Top line Ø250 x 3,2/2,2 Z40 para una velocidad de rotación máxima de 7600 rpm. Se logró así un corte de excelente terminación final.



Figura 4 Corte y dimensionado de las piezas a unir en banco de sierra

Para la fabricación del dentado se utilizó una Tupí que se muestra en la figura 5, equipada con una fresa que genera un dentado de 10 milímetros de profundidad y una pendiente del flanco del diente de $2/10$ ($11,3^\circ$), siendo la designación de la fresa: LEUCO 160 x 32,4 x 50.

Con el fin de obtener un dentado con excelente terminación superficial se utilizó una velocidad de giro de 6000 rpm.



Figura 5. Tupí y fresa

En la realización de los ensayos se utilizó la máquina universal de ensayos (Figura 6), capaz de aplicar una fuerza tensora necesaria, entregando valores con una precisión de 0,5 Kg. La carga fue aplicada a una velocidad constante de 12,7 mm/min.

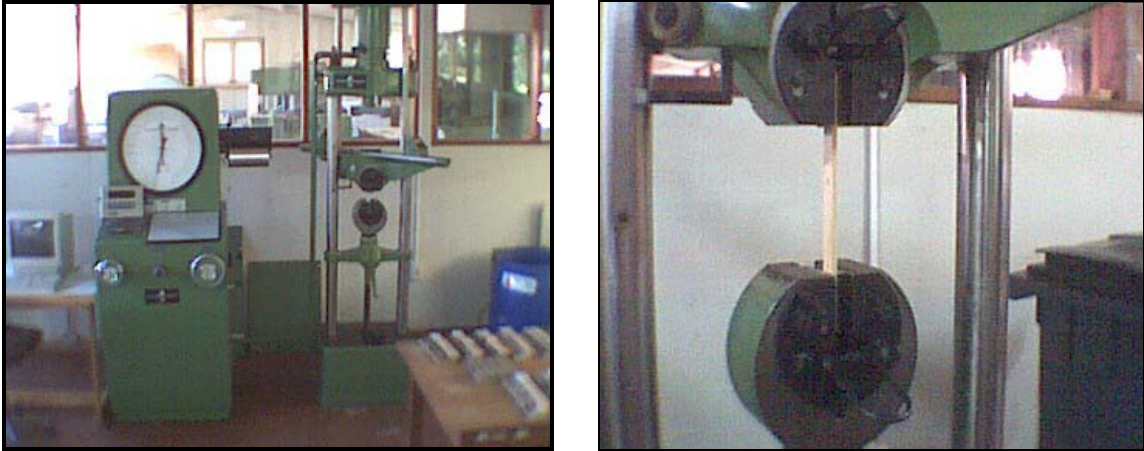


Figura 6. Máquina Universal de Ensayo

3.2 Método

3.2.1 Detección de la inclinación de la fibra

Para fabricar las probetas que fueron obtenidas a partir de cortes anatómicos netos (corte tangencial) y además como una forma de eliminar otras variables, como el ángulo de encuentro de los anillos y cambio de densidad entre las piezas que conforman la unión, el par de piezas que conforman la unión se obtuvieron a partir de la misma pieza de madera, por lo cual de cada pieza se extrajo la parte de la unión que tenía una inclinación de 0° y otra con inclinaciones de 0, 4, 8 ó 12 grados, de esta manera se lograron uniones hermanadas como lo muestra claramente la figura 7.



Figura 7. Marcado de la preprobeta para una unión hermanada

3.2.2 Dimensiones de las probetas

A partir de un montaje de unión dentada el cual es obtenido con piezas con sobre dimensión (35 mm x 35 mm x 150 mm), como una forma de mejorar las condiciones de trabajo para lograr la unión (preprobeta), se obtuvieron las probetas para ensayo, cada una de ellas con las medidas establecidas que se indican en la figura 8, logrando de cada ensamble dos probetas.



Figura 8. Dimensiones de las probetas para tracción

3.2.3 Tratamientos

A continuación del periodo de curado indicado para el adhesivo que fue utilizado en el ensayo, las preprobetas fueron dejadas a clima controlado ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $65\pm 5\%$ humedad relativa del aire) durante una semana en la cámara de clima del laboratorio del Instituto para luego de este periodo realizar el corte de las probetas y someter a ensayo. Para el ensayo se respetaron las instrucciones de la norma ASTM D 5572.

3.2.4 Tamaño de la Muestra

Para cada combinación única de tipo de muestra, cada grupo de ensayo consistió de 15 probetas que fueron seleccionadas de un total de 40, siendo el criterio de selección el de utilizar las 15 probetas de mayor valor de resistencia, entre aquellas que presentaron un desgarro entre 10% y 90% al ser ensayadas ya que estas son las probetas en que la resistencia esta directamente relacionada con la unión, eliminando aquellas con desgarro de 100%, ya que para estas la resistencia esta entregada por la densidad de la madera y eliminando también aquellas con desgarro de 0% por considerar que en estas no se logra una unión de calidad.

La decisión de utilizar 15 probetas es debido a que se utilizó un tamaño de muestra constante para cada tipo de ángulo de encuentro, como consecuencia de esta selección ya explicada la muestra seleccionada no pierde su condición de aleatoria.

Se conformó así cuatro grupos de probetas, según su grado de inclinación de la fibra (0° - 0°), (0° - 3°), (0° - 6°) y (0° - 9°), cada una consistente en 15 probetas respectivamente, más 15 probetas de madera sin unión con la dirección de la fibra en 0° respecto al largo de la probeta, siendo utilizadas como muestras testigo con

las cuales se tiene un total de 75 probetas para la realización de los cálculos del estudio.

Las figuras 9 y 10 muestran un ejemplo claro de la diferencia entre las probetas seleccionadas y rechazadas para el estudio, ya que en el primer caso la probeta presenta la fractura en la unión dentada en comparación con la figura 10 en que la fractura se encuentra fuera de la unión.

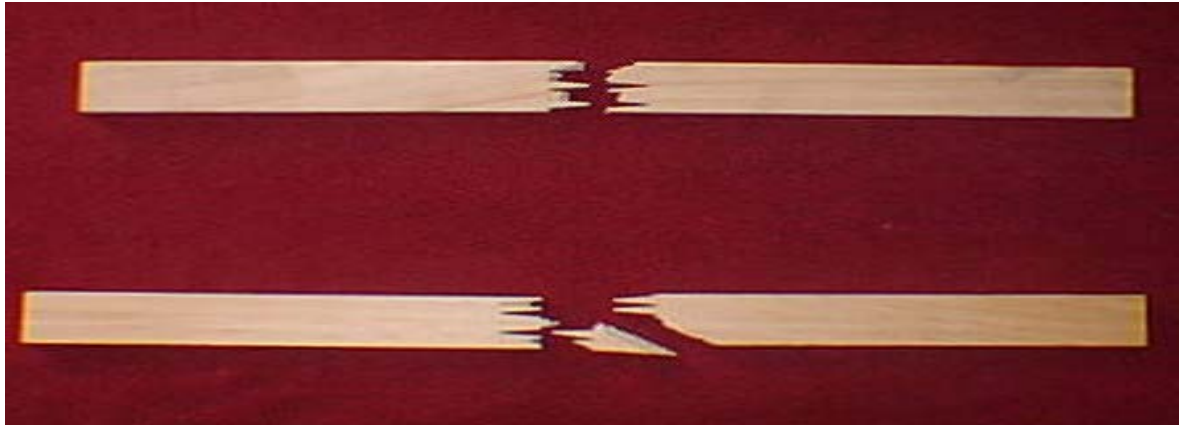


Figura 9. Ejemplo de probetas ensayadas seleccionadas



Figura 10. Ejemplo de probetas ensayadas no seleccionadas

3.3 Cálculos

El esfuerzo tensor máximo que corresponde a la máxima carga que es capaz de soportar la pieza por unidad de superficie, se determinó mediante la expresión:

$$R = (Q/A) * 0.0980665 \text{ MPa}$$

Donde:

R = Tensión unitaria de rotura

Q = Carga de rotura expresada en kg

A = Área de la sección de la probeta expresada en cm^2

0.0980665 = Factor de conversión kg/cm^2 a MPa

3.4 Tratamiento de resultados

3.4.1 Datos obtenidos

Para la utilización de los valores obtenidos y efectuar los cálculos se construyó una tabla de datos que contiene los valores de resistencia alcanzados por las probetas seleccionadas para el estudio, la cual se entrega en el anexo 2.

3.4.2 Evaluación de resultados

La evaluación estadística fue realizada con la ayuda de Microsoft Excel cuyos resultados se entregan completos en el anexo 2.

Para cada tipo de unión se determinó: valores máximos y mínimos, media, desviación estándar y varianza.

Para esto se usó la tabla de datos para cada tipo de tratamiento que están incluidas en el anexo 3.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA, que comprueba la hipótesis de que las medias de población de las muestras son iguales cuando existen múltiples muestras, por eso se comparan los siguientes casos:

Valor F < Valor Crítico para F

Se comprobó la hipótesis nula de que todas las inclinaciones de fibra producen el mismo efecto en la resistencia a la tracción en las uniones dentadas.

Valor F > Valor Crítico para F

Se rechazó la hipótesis nula y fue necesario determinar cual de las inclinaciones de fibra es la que produce distinta resistencia a la tracción, por este motivo fue necesario realizar comparaciones múltiples por el método de la diferencia mínima significativa, con lo cual se pudo determinar cual era la combinación de ángulos que produce una resistencia a tracción de una diferencia considerable.

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación estadística

Conocidos los valores de resistencia de cada ángulo de encuentro, se calcularon los estadígrafos descriptivos que se entregan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tensión unitaria máxima (MPa)

	Tipo de unión				
	(0° - 12°)	(0° - 8°)	(0° - 4°)	(0° - 0)	Sin unión
Media	34,97	39,06	38,55	38,77	73,48
Desviación estándar	2,70	3,39	6,38	4,51	5,21
Varianza de la muestra	7,29	11,52	40,81	20,39	27,21
Mínimo	30,93	33,79	32,77	31,29	66,27
Máximo	39,14	44,45	52,34	46,58	83,23
Tamaño de la muestra	15	15	15	15	15

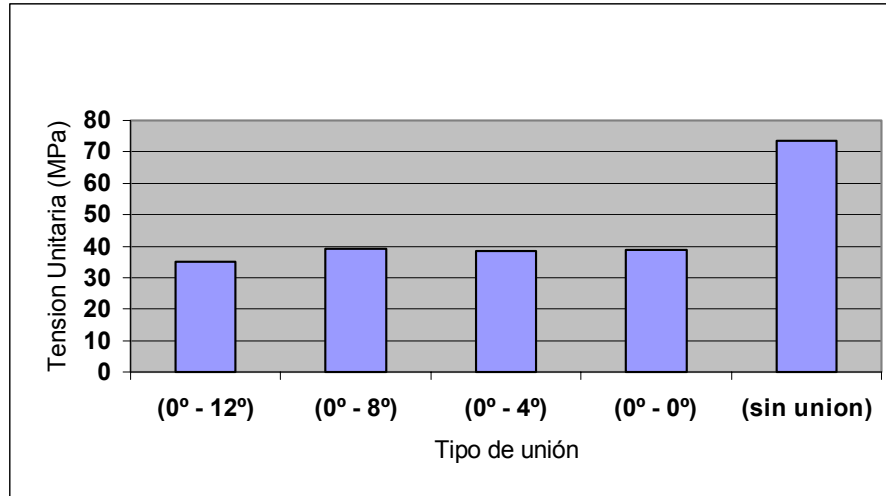


Figura 11. Resistencias promedio de las diferentes combinaciones de ángulos comparadas con madera sin unión

Al realizar un análisis del gráfico de la figura 11 que presenta los valores promedio de las resistencias de los diferentes tipos de muestras, se puede observar que entre las combinaciones de ángulos entre 0° y 8° existe una similitud siendo los valores cercanos a 39 (MPa) con una reducción de la resistencia en comparación a las muestras testigos sin unión de alrededor de un 47%. Para el caso de las probetas con unión (0° - 12°) el valor es muy cercano a 35 (MPa) produciéndose una reducción de aproximadamente 52% con respecto a las muestras testigos y una reducción alrededor de un 10% con respecto a las uniones con una inclinación igual o inferior a 8°.

Para comprobar el análisis hecho anteriormente se realizó un análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias de las diferentes combinaciones de ángulos de fibra en la unión, los resultados se entregan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis de varianza

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	166,419372	3	55,4731238	2,77247066	0,04982084	2,76943268
Dentro de los grupos	1120,47892	56	20,0085522			
Total	1286,89829	59				

Mediante este análisis de la varianza se comprobó lo anteriormente evaluado, ya que existe diferencia entre el valor F y el Valor crítico para F, lo que indica que alguno de los valores de las medias entrega una diferencia significativa por lo que fue necesario realizar un análisis de comparaciones múltiples por medio de la diferencia mínima significativa la cual es entregado en el cuadro 3.

Cuadro 3. Comparaciones múltiples

Tipo de unión	Diferencia	situación
(0°-0°) - (0°-4°)	0.2179255	No existe diferencia significativa
(0°-0°) - (0°-8°)	-0.2887514	No existe diferencia significativa
(0°-0°) - (0°-12°)	3.8000768	Existe diferencia significativa
(0°-4°) - (0°-8°)	-0.5066769	No existe diferencia significativa
(0°-4°) - (0°-12°)	3.5821513	Existe diferencia significativa
(0°-8°) - (0°-12°)	4.0888282	Existe diferencia significativa
Diferencia mínima significativa = 3.28138461		

Con este análisis se detectó que existe diferencia entre la unión (0° - 12°) y el resto de uniones, siendo esta combinación la única que presenta una diferencia importante.

4.2 Análisis de resultados

Mediante el análisis estadístico se comprobó que el ángulo de inclinación de la fibra en uniones dentadas es un factor que interviene en la resistencia a la tracción de uniones dentadas, siendo este factor influyente con ángulos superiores a los 8° .

La explicación a estos resultados puede encontrarse analizando la figura 12 la cual corresponde a la unión (0° - 12°) en la que se puede observar que uno de los planos de contacto en el dentado queda prácticamente paralelo a la dirección de la fibra ya que esta se encuentra con una inclinación de 12° y el ángulo de inclinación del flanco del diente es de $11,3^{\circ}$.

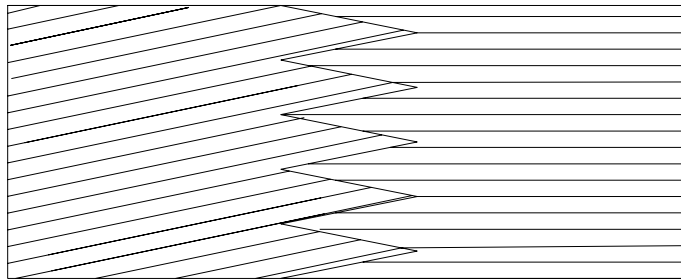


Figura 12 Dirección de la fibra en probeta (0° - 12°).

Debido a que las uniones de los otros ángulos de encuentro (0° - 0°), (0° - 4°) y (0° - 8°) no poseen esta característica ya que tienen sus 10 planos de contacto del dentado con encuentros de la fibra por medio de los extremos de esta, lo que permite una mejor penetración y por tanto un mejor anclaje de los dedos de cola en la madera.

Respecto a los altos valores de reducción en la resistencia al comparar los obtenidos con las uniones y los obtenidos con las muestras testigos, se puede explicar debido a que las muestras testigos poseían una inclinación de fibra de 0° y estaban confeccionadas a partir de madera libre de defectos, lo que influyó en la obtención de altos valores de resistencia lo que se puede apreciar en la forma en que estas probetas se rompieron como lo muestra la figura 13.

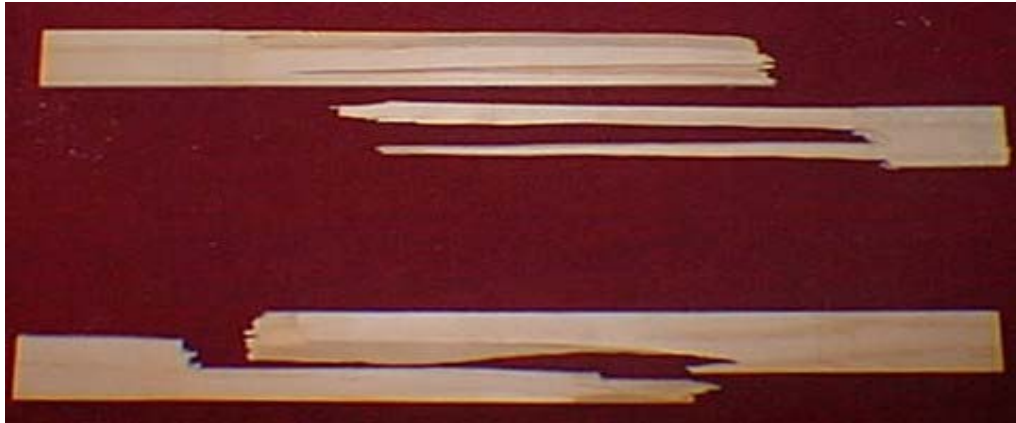


Figura 13. Ejemplo de forma de rompimiento de muestras testigo

5. CONCLUSIONES

En la resistencia a la tracción de uniones dentadas, la variable del ángulo de inclinación de la fibra es un factor que afecta la resistencia de las uniones, siendo este factor significativamente influyente sobre 8° , no presentando diferencias entre las uniones realizadas con ángulos de fibra hasta los 8° lo que quedó demostrado al presentar las muestras valores muy similares en las uniones con ángulos ($0^\circ-0^\circ$), ($0^\circ-4^\circ$) y ($0^\circ-8^\circ$), Esto contrasta con la disminución que sufrió este valor en las muestras con unión ($0^\circ-12^\circ$).

Las uniones dentadas fabricadas con ángulos inferiores a 8° poseen una resistencia aproximada al 53% en comparación a las muestras testigo confeccionadas con madera sin unión y con las fibras paralelas al eje de la probeta, siendo para las probetas de 12° de un 48% con respecto a las muestras testigo.

Los resultados obtenidos son consistentes con la bibliografía en el sentido que los valores de tracción para las probetas con unión son de alrededor de un promedio de 39 MPa para las uniones dentadas realizadas con pino radiata con lo cual se puede tener un valor referencial para la resistencia mecánica de estas uniones.

BIBLIOGRAFIA

American Society for testing and materials. 1995. ASTM D 5572-95 Standard Specification for Adhesives used for Finger Joits in Nonstructural Lumber Products.

Consejo Federal de Inversiones. 2001. Comercio internacional de madera sólida. www.cfired.org.ar [mayo, 24, 2002]

Gallardo V., J.L. 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.

Karsulovic, J.; Leon. L. 1988. Factores que intervienen en la resistencia mecánica de uniones Finger-Joint. Chile forestal. Santiago, Chile. 8 p.

Kutscha, N.; Caster, R. 1987. Factors affecting the bond quality of hem-fir finger-joint. Forest Product Journal. 37(4): 43-48

Poblete, H.; Cuevas, H. 1998. Uniones endentadas y de canto con *Pinus radiata*: experiencia sobre su calidad. Bosque 19 (2): 77-84.

Selbo, M.L. 1963. Effect of joint Geometry on Tensile Strength of Joints. Forest Products Journal 13 (9): 390-400.

ANEXOS

Anexo 1
Abstract

ABSTRACT

The influence of the inclination of the fiber in the tensile strength of elaborated finger joints with radiata pine was determined. With that objective tests were made, in the Forest Product Technology of the Universidad Austral de Chile, with prepared test specimens of way so that the influential variables in the resistance of the union were controlled to handle as only variable the rake of the fiber.

The study was made for encounter angles 0° , 4° , 8° and 12° by means of the manufacture of unions with the combinations $(0^\circ-0^\circ)$, $(0^\circ-4^\circ)$, $(0^\circ-8^\circ)$ and $(0^\circ-12^\circ)$.

As result of the analysis were not found influences of the rake of the fiber in the resistance to traction in the unions with encounter between 0° and 8° , taking place a significative reduction for the unions made with angle of 12° .

In addition the unions were compared with specimens without union with direction of the parallel fiber of the length of the test specimens, determining themselves that the reduction of the tensile strength is around 50% in the unions.

Keywords: Finger joints, inclination fiber, tensile strength, radiata pine.

Anexo 2

Valores de las probetas seleccionadas

Probetas con unión (0° - 12°)

Nº Probeta	Densidad	Carga (Kg)	Tensión Unitaria Máxima (MPa)	desgarro %
1	527.3	432.0	35.30	30
2	552.9	405.5	33.14	10
3	452.6	458.5	37.47	80
4	453.3	477.0	38.98	75
5	530.4	479.0	39.14	40
6	514.1	435.0	35.55	50
7	504.6	421.0	34.40	30
8	524.8	397.0	32.44	10
9	510.5	458.5	37.47	10
10	438.2	422.0	34.49	90
11	450.9	378.5	30.93	60
12	546.7	454.0	37.10	90
13	519.0	431.5	35.26	80
14	528.0	388.0	31.71	10
15	506.6	382.5	31.26	10

Probetas con unión (0° - 8°)

Nº Probeta	Densidad	Carga (Kg)	Tensión unitaria Máxima (MPa)	desgarro %
1	331.8	510.5	41.72	90
2	497.3	414.5	33.87	80
3	441.2	458.5	37.47	80
4	520.6	544.0	44.46	50
5	492.3	452.5	36.98	30
6	527.0	488.5	39.92	10
7	399.4	413.5	33.79	70
8	506.8	509.5	41.64	50
9	484.7	493.5	40.33	70
10	454.6	454.5	37.14	80
11	463.2	523.0	42.74	90
12	514.6	487.5	39.84	50
13	499.0	494.5	40.41	80
14	490.5	512.0	41.84	50
15	532.3	414.0	33.83	60

Probetas con unión (0° - 4°)

N° Probeta	Densidad	Carga (Kg)	Tensión unitaria máxima (MPa)	desgarro %
1	417.8	404.5	33.1	90
2	457.5	401	32.8	70
3	524.5	424.5	34.7	40
4	467.8	427	34.9	20
5	660.1	522	42.7	40
6	629.1	540.5	44.2	10
7	597.0	640.5	52.3	10
8	509.4	428.5	35.0	30
9	443.0	460	37.6	60
10	477.1	417	34.1	60
11	503.7	410.5	33.5	20
12	465.6	412.5	33.7	30
13	614.0	534.5	43.7	10
14	639.9	444.5	36.3	30
15	599.4	610	49.9	10

Probetas con unión (0° - 0°)

N° Probeta	Densidad	Carga (Kg)	Tensión unitaria máxima (MPa)	desgarro %
1	525.8	448.0	36.61	10
2	537.0	448.5	36.65	20
3	466.5	383.0	31.30	20
4	467.1	429.0	35.06	50
5	445.9	570.0	46.58	70
6	441.1	478.0	39.06	80
7	561.8	398.5	32.57	10
8	480.5	471.5	38.53	20
9	470.0	447.5	36.57	20
10	388.5	553.5	45.23	90
11	454.1	458.5	37.47	50
12	501.9	504.0	41.19	30
13	493.9	491.0	40.13	50
14	423.0	562.0	45.93	90
15	534.6	474.5	38.78	30

Probetas sin unión (muestras testigo)

Nº Probeta	Densidad	Carga (Kg)	Tensión unitaria máxima (MPa)	desgarro %
1	471.8	967	79.03	100
2	499.6	963	78.70	100
3	505.2	828.5	67.71	100
4	607.2	846	69.14	100
5	570.6	913	74.61	100
6	568.1	832	67.99	100
7	578.6	892	72.90	100
8	569.2	956.5	78.17	100
9	519.5	811	66.28	100
10	488.3	877.5	71.71	100
11	510.4	906.5	74.08	100
12	541.4	1018.5	83.23	100
13	624.6	956.5	78.17	100
14	559.9	817.5	66.81	100
15	565.6	903.5	73.84	100

Anexo 3
Resultados estadísticos

Uniones (0° -12°)

<i>Tensión unitaria máxima (MPa)</i>	
Media	34.9770517
Error típico	0.69728805
Mediana	35.263079
Moda	37.4695752
Desviación estándar	2.700585
Varianza de la muestra	7.29315932
Curtosis	-1.11964248
Coefficiente de asimetría	0.00878534
Rango	8.21306938
Mínimo	30.9318085
Máximo	39.1448779
Suma	524.655775
Cuenta	15
Nivel de confianza(95.0%)	1.49553545

Uniones (0° - 8°)

<i>Tensión unitaria máxima (MPa)</i>	
Media	39.0658799
Error típico	0.87672969
Mediana	39.9212377
Moda	#N/A
Desviación estándar	3.39555947
Varianza de la muestra	11.5298241
Curtosis	-0.89616804
Coefficiente de asimetría	-0.38165982
Rango	10.6647319
Mínimo	33.7920815
Máximo	44.4568133
Suma	585.988199
Cuenta	15
Nivel de confianza(95.0%)	1.88039983

Uniones (0° - 4°)

Tensión unitaria máxima (MPa)

Media	38.559203
Error típico	1.64947972
Mediana	35.0179127
Moda	#N/A
Desviación estándar	6.38840749
Varianza de la muestra	40.8117503
Curtosis	0.09220508
Coefficiente de asimetría	1.1330419
Rango	19.572439
Mínimo	32.7705554
Máximo	52.3429944
Suma	578.388045
Cuenta	15
Nivel de confianza(95.0%)	3.53778529

Uniones (0° - 0°)

Tensión unitaria Máxima (MPa)

Media	38.7771285
Error típico	1.16617537
Mediana	38.5319623
Moda	#N/A
Desviación estándar	4.51657779
Varianza de la muestra	20.3994749
Curtosis	-0.34332582
Coefficiente de asimetría	0.34415491
Rango	15.2820296
Mínimo	31.2995579
Máximo	46.5815875
Suma	581.656928
Cuenta	15
Nivel de confianza(95.0%)	2.50119963

Muestras testigo (sin unión)

<i>Tensión unitaria máxima (MPa)</i>	
Media	73.4899455
Error típico	1.34696823
Mediana	73.8359023
Moda	78.1671727
Desviación estándar	5.21678553
Varianza de la muestra	27.2148512
Curtosis	-0.98724959
Coefficiente de asimetría	0.18622189
Rango	16.9573323
Mínimo	66.2766096
Máximo	83.2339419
Suma	1102.34918
Cuenta	15
Nivel de confianza(95.0%)	2.8889621

Tabla para análisis de varianza

0° - 12°	0° - 8°	0° - 4°	0° - 0°
Tensión unitaria máxima (MPa)	Tensión unitaria máxima (MPa)	Tensión unitaria máxima (MPa)	Tensión unitaria Máxima (MPa)
35.30	41.72	33.1	36.61
33.14	33.87	32.8	36.65
37.47	37.47	34.7	31.30
38.98	44.46	34.9	35.06
39.14	36.98	42.7	46.58
35.55	39.92	44.2	39.06
34.40	33.79	52.3	32.57
32.44	41.64	35.0	38.53
37.47	40.33	37.6	36.57
34.49	37.14	34.1	45.23
30.93	42.74	33.5	37.47
37.10	39.84	33.7	41.19
35.26	40.41	43.7	40.13
31.71	41.84	36.3	45.93
31.26	33.83	49.9	38.78

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
0° - 12°	15	524.655775	34.9770517	7.29315932
0° - 8°	15	585.988199	39.0658799	11.5298241
0° - 4°	15	578.388045	38.559203	40.8117503
0° - 0°	15	581.656928	38.7771285	20.3994749

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	166.419372	3	55.4731238	2.77247066	0.04982084	2.76943268
Dentro de los grupos	1120.47892	56	20.0085522			
Total	1286.89829	59				

COMPARACIONES MULTIPLES

Diferencia mínima significativa = 3.28138461

(0°-0°) - (0°-4°)	0.2179255	
(0°-0°) - (0°-8°)	0.2887514	
(0°-0°) - (0°-12°)	3.8000768	diferencia significativa
(0°-4°) - (0°-8°)	0.5066769	
(0°-4°) - (0°-12°)	3.5821513	diferencia significativa
(0°-8°) - (0°-12°)	4.0888282	diferencia significativa