



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Resistencia mecánica en uniones larguero – travesaño,  
en puertas de *Pinus radiata* D. Don y de *Pseudotsuga  
menziessi* (Mirb) Franco**

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera L.

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

**RENÉ JOSÉ ANDRÉS APABLAZA BENAVIDES**

VALDIVIA

2006

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Alfredo Aguilera León	7,0
Informante:	Sr. Luis Inzunza D.	6,3
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	6,1

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Aprovecho esta oportunidad para agradecer de forma muy especial a mis padres y hermano por toda la sabiduría, comprensión y apoyo incondicional que me han entregado durante toda mi vida, y establecer que todos mis logros, tanto en lo profesional como en lo personal, se los debo a ellos.

Agradezco a Consuelo por su paciencia, apoyo y gran compañía en esta etapa de mi vida.

Quiero agradecer a mi profesor patrocinante el Sr. Alfredo Aguilera León, por su apoyo y confianza entregada en los últimos años de mi carrera y en la realización de este trabajo.

Agradezco a mis profesores informantes el Sr. Luis Inzunza D. y al Sr. Héctor Cuevas D. por sus sugerencias, críticas y correcciones.

Mis agradecimientos a Empresas Fourcade por facilitar los ensambles utilizados en este trabajo.

Un sincero agradecimiento al Sr. Marcos Torres U. por sus valiosos consejos entregados a lo largo de mi carrera y para la realización de este trabajo.

Agradezco a mis tíos y padrinos, el Sr. Julio Nazar M. y la Sra. Lorna Benavides S., por su ayuda en la permanencia de mis estudios.

Agradezco a mis amigos y a todos los que de una u otra forma me ayudaron y apoyaron en este proceso.

*. . . a mis Padres y a la  
memoria de mi Abuelo*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Caracterización de las puertas	2
2.1.1 Puertas de madera	2
2.2 Bastidores de madera	3
2.2.1 Madera adecuada para bastidores	4
2.2.2 Ensamblés en los bastidores	5
2.2.3 Encolado de los ensamblés	6
2.3 Factores que inciden sobre la resistencia	7
2.3.1 Generalidades	7
2.3.2 Factores que inciden sobre la resistencia de la madera	8
2.3.3 Factores que inciden sobre la resistencia del encolado	10
2.4 Estudios similares	10
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	11
3.1 Materiales	11
3.1.1 Madera	11
3.1.2 Forma y dimensión de las muestras	11
3.1.3 Equipos y accesorios	12
3.2 Método	13
3.2.1 Variable de ensayo	13
3.2.2 Tamaño de la muestra	13
3.2.3 Preparación de muestras	14
3.2.3 Procedimiento del ensayo de tracción	14
3.3 Diseño experimental	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Análisis estadístico	15
4.1.1 Análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo	18
4.1.2 Análisis de varianza con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado	20
4.1.3 Análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado	22
4.2 Tipos de falla	24
5. CONCLUSIONES	26
6. BIBLIOGRAFIA	27

- 1 *Abstract and keywords*
- 2 Estadística descriptiva y Análisis de varianza
- 3 Cuadros, gráficos y fotografías de los tipos de falla

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Contenidos de humedad según UNE 56.827	4
Cuadro 2. Valores de ensayo de tracción a uniones tarugadas. Instituto de Tecnología de Productos Forestales	10
Cuadro 3. Denominación de los tipos de tarugo	13
Cuadro 4. Número de ensambles utilizados para cada variable	13
Cuadro 5. Resumen de medidas estadísticas de los ensambles en general	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Hoja de puerta de tablero con sus componentes	3
Figura 2. Piezas del bastidor de la puerta con unión caja y espiga	5
Figura 3. Piezas del bastidor de la puerta con unión tarugada	6
Figura 4. Forma y dimensiones de los ensambles	11
Figura 5. Máquina Universal de Ensayos	12
Figura 6. Accesorios para tracción	12
Figura 7. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de tarugo en los ensambles de <i>Pinus radiata</i>	16
Figura 8. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de tarugo en los ensambles de <i>Pseudotsuga menziessi</i>	16
Figura 9. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de estría del tarugo en los ensambles de <i>Pinus radiata</i>	17
Figura 10. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de estría del tarugo en los ensambles de <i>Pseudotsuga menziessi</i>	17
Figura 11. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según el tipo de tarugo	18
Figura 12. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pinus radiata</i> , según el tipo de tarugo	19
Figura 13. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pseudotsuga menziessi</i> , según el tipo de tarugo	20
Figura 14. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según el tipo de estría del tarugo	21
Figura 15. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pinus radiata</i> , según el tipo de estría del tarugo	21
Figura 16. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pseudotsuga menziessi</i> , según el tipo de estría del tarugo	22
Figura 17. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según la especie del tarugo	23

Figura 18.	Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pinus radiata</i> , según la especie del tarugo	23
Figura 19.	Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de <i>Pseudotsuga menziessi</i> , según la especie del tarugo	24
Figura 20.	Tipos de falla obtenidos en los ensayos de los ensambles en general	25

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general de este estudio es determinar la resistencia mecánica a la extracción directa de la unión tarugada larguero – travesaño, en puertas de *Pinus radiata* D. Don y de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb) Franco. Evaluando tres tipos de tarugos. Con este objetivo se realizaron ensayos en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, utilizando ensambles industriales fabricados por Empresas Fourcade.

En el estudio se evaluaron tarugos estriados espiralmente: dos tarugos de especie nativa, uno con estría gruesa (tipo 1) y el otro con estría delgada (tipo 2) y el tercer tarugo de especie *Pinus radiata*, con estría gruesa (tipo 3).

La carga promedio de rotura, de los ensambles ensayados, fue de 1566 Kg., superior a un estudio similar realizado por el Instituto de Tecnología de Tecnología Productos Forestales.

Mediante los análisis estadísticos, se obtuvo que no existe diferencia significativa entre las cargas de rotura de los ensambles ensayados, con respecto al tipo de tarugo, al tipo de estría del tarugo y a la especie del tarugo que utilizan. Dentro de los ensambles de las puertas de *Pinus radiata*, existió una diferencia significativa entre el tarugo tipo 2 y el tarugo tipo 3.

En base a la resistencia, se determinó que el mejor ensamble a la extracción directa de la unión tarugada, es el que utiliza tarugos con estría gruesa y de especie *Pinus radiata*. Alcanzando un valor promedio de 1650 Kg., de carga de rotura.

Palabras clave: Resistencia mecánica, carga de rotura, unión tarugada, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziessi*.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las puertas de madera presentan, como consecuencia de los porcentajes anisotrópicos de contracción e hinchamiento propios de este material y a la vez por su propio uso, alabeos y desigualdades en su superficie, causando un perjuicio considerable en sus ensambles. Debido a esto, es importante controlar que el contenido de humedad final de la puerta sea adecuado al lugar de utilización y que sus uniones sean capaces de resistir dichas obligaciones.

Los diferentes tipos de prueba a que se someten las uniones entregan valores que están directamente relacionados con la especie leñosa que se ha utilizado. De igual forma, las propiedades mecánicas de la unión, están relacionadas con las propiedades del adhesivo utilizado. Poblete (1978)

Las propiedades mecánicas de la madera, determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas o aplicadas, con lo cual se puede controlar las formas de uso más adecuadas. 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 de tracción y cizalle. Poblete (1978)

Empresas Fourcade, aprovechando el reconocido bagaje adquirido en la fabricación y exportación de muebles entre los años 1980 y 1995 y la creciente e insatisfecha demanda del mercado de la construcción y el diseño interno por puertas sólidas, desarrolló la línea de puertas y sus complementos en *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziessi*. La búsqueda de un producto industrial de óptima relación calidad-precio, fue la base para la realización de este estudio. Determinar la resistencia mecánica de las uniones tarugadas en sus puertas, y evaluar si existe alguna diferencia significativa en el tipo de tarugo que se emplea.

Los antecedentes mencionados han llevado a la realización de este Trabajo de Titulación que tiene como:

Objetivo general:

Determinar la resistencia mecánica a la extracción directa de la unión tarugada larguero – travesaño, en puertas de *Pinus radiata* D. Don y de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb) Franco.

Objetivos específicos:

- Cuantificar y determinar las cargas de rotura o la resistencia de unión en la interfase larguero – travesaño, de tres tipos de tarugos estriados espiralmente.
- Evaluar diferencias significativas entre la carga de rotura de las uniones entre los tres tipos de tarugos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Caracterización de las puertas

Para caracterizar una puerta existen varios conceptos: el tipo de material empleado, el lugar de ubicación final, el movimiento de la puerta, la clase de marco empleado, entre otros. A continuación se escriben los conceptos, según algunos autores.

- Según CORMA (2005), las puertas se caracterizan por el material empleado de las hojas utilizadas para cerrar el vano, estos pueden ser: De madera, de metal, de polivinilo rígido (PVC), de cristal y mixtas. Estima conveniente caracterizarlas de acuerdo al tipo de movimiento que realizan para cerrar o abrir: giratorias, correderas y de movimiento compuesto.
- Guzmán (1990), clasifica las puertas, al igual que CORMA (2005), por el material de que están hechas y según el tipo de movimiento que realizan para cerrar o abrir. Determinando que es más interesante clasificar las puertas por esto último. Nombrando los siguientes movimientos: Giratorias, en torno a un eje vertical u horizontal; deslizantes o de corredera, también de posición vertical u horizontal; y de movimiento compuesto, de eje vertical y guía horizontal, o al revés, de eje horizontal y guía vertical. Guzmán nombra una tercera clasificación según las manos de la puerta, en relación al lado hacia el cual se abre y la ubicación de las bisagras: Puerta de mano derecha, es la que tiene las bisagras al lado derecho, en relación a la persona que entra, y puerta de mano izquierda, bisagras al lado izquierdo, en relación a la persona que entra.
- Nutsch (2000), además de nombrar los conceptos anteriores agrega los siguientes:
  - Por la clase de marco: Marco de bloque, marco empotrado, marco al aire o marco de relleno con revestimiento.
  - Por el lugar y ubicación de la puerta: De exterior o de interior.
  - Por el tipo de montante superior: De dintel, de medio punto o de arco carpanel.

#### 2.1.1 Puertas de madera

Se distinguen dos tipos de puertas de madera. Las puertas de placa o lisas, donde sus caras están formadas usualmente por láminas de madera contrachapada de espesor reducido, separadas y sostenidas de diversas formas. Y las puertas de tablero, formadas por un bastidor que recibe piezas de madera, llamadas tableros o cuarterones, en una hendidura central.

## Puertas de tablero

Su parte principal es el bastidor, formado por dos elementos verticales o largueros y varios horizontales o travesaños que fijan los tableros. Según la norma chilena (Nch) 446 Of.2000, el larguero es donde se colocan las bisagras y batiente, es el larguero opuesto. El cabezal es el travesaño superior y peinazo el travesaño de mayor ancho, generalmente ubicado en la parte inferior y en algunos casos, a la altura de la cerradura.

Con respecto a las dimensiones, la Nch 354. Of.04 establece dimensiones sólo para las hojas de puertas lisas. Para puertas de tablero el espesor más frecuente del bastidor es de 45 mm, el ancho de largueros y travesaños es de 90 mm y el del peinazo, de 190 mm. CORMA (2005)

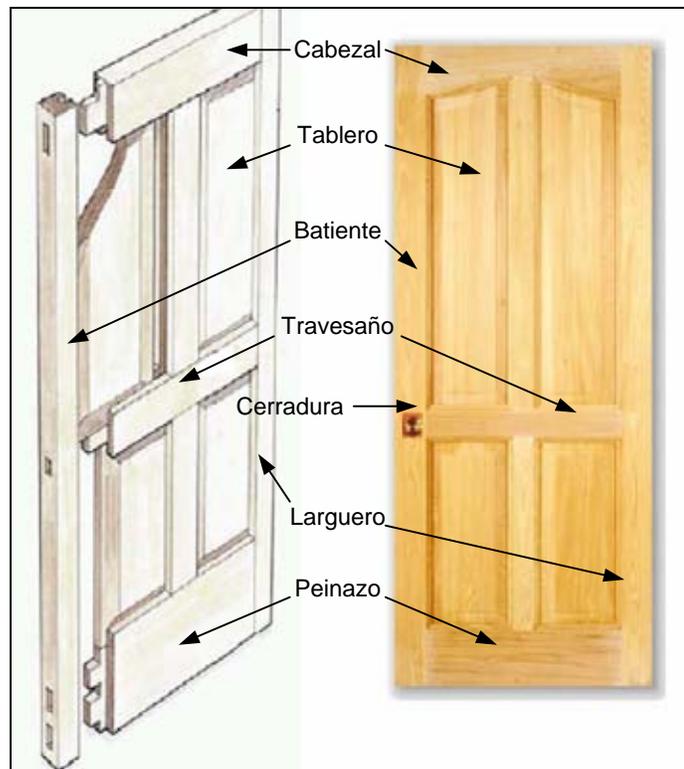


Figura 1. Hoja de puerta de tablero con sus componentes

## 2.2 Bastidores de madera

Como se menciona anteriormente, el bastidor es la parte principal de las puertas de madera (de tableros). Para la fabricación de éste, es importante la adecuada elección de la madera a utilizar, una correcta ejecución de los ensamblajes en las esquinas y un adecuado encolado.

### 2.2.1 Madera adecuada para bastidores

En la fabricación de los bastidores es importante la elección de la madera. Esta tiene que ser resistente, de buena apariencia, libre de defectos y de poca deformación. Además, debe contar con un contenido de humedad adecuado a su uso.

La madera es higroscópica, de modo que cuando se la expone a la humedad ambiental, ella absorbe o pierde humedad hasta llegar a un equilibrio con la humedad del ambiente que la rodea. Al contenido de humedad de la madera que permite este equilibrio con la humedad atmosférica circundante se le denomina humedad de equilibrio. Ella puede variar con el valor de la temperatura ambiental y con la humedad relativa del lugar. CORMA (2003)

Las variaciones diarias de la humedad relativa no tienen un gran efecto como las que se producen mensualmente o en períodos de tiempo mayores. Sin embargo, la madera siempre está cambiando su contenido de humedad, a fin de ponerse en equilibrio con la humedad ambiental.

Estos cambios originan variaciones dimensionales conocidas como juego de la madera, al cual se debe prestar atención a fin de minimizar sus efectos. Una forma de lograr lo anterior, es usar la madera con un contenido de humedad similar a la humedad de equilibrio del lugar donde la madera prestará servicio, y, además proveerla de protecciones a fin de mantener una adecuada estabilidad dimensional, que permita que los elementos o productos finales de madera producidos no se deformen, mantengan sus uniones y características de terminado. El contenido de humedad para elementos de madera sometidas a un calor breve u ocasional y a una calefacción regular intermitente es de un 12 a 14 %. Juacida *et al.* (1992)

La norma española UNE 56.827, que tiene por objetivo especificar las características de los materiales en la fabricación de puertas carpinteras de madera, establece los siguientes contenidos de humedad<sup>1</sup>:

Cuadro 1. Contenidos de humedad según UNE 56.827

TIPOS DE PUERTA	CONTENIDO DE HUMEDAD
Puertas de interior	8 a 12%
Puertas de exterior	12 a 20%

Como consecuencia de los porcentajes anisotrópicos de contracción, la manipulación de la madera es perturbada considerablemente, produciendo el alabeo de tablas y desigualdades en su superficie. Esto causa un perjuicio considerable cuando se trata de ensambles de madera, pues en esta, las dimensiones de las piezas tienen que

<sup>1</sup> Sello de Calidad para Puertas de Carpintería de Madera. <http://www.infomadera.net>

ser muy precisas para que se ajusten, y por ello Kollmann (1959), recomienda emplear piezas de madera de corte radial, porque en estas piezas las tolerancias en las dimensiones de la anchura dependen de los coeficientes radiales de contracción, que son los mas pequeños.

Para Nutsch (2000), la madera apropiada para los bastidores son únicamente las tablas sanas, sin nudos, sin defectos y sin crecimiento en espiral o excéntrico.

La norma española UNE 56.827, establece con respecto a la madera, que se podrá usar cualquier especie, sin rastro de pudrición o alteración, sin fendas ni acebolladuras. Podrán aparecer nudos sanos y adherentes, no agrupados. Si aparecen en un canto, su anchura no será superior a 1/6 de la del canto. Y prioriza, que si la puerta es para pintar o recubrir, se admitirán las uniones dentadas de testa<sup>2</sup>.

Para mejorar el rendimiento de sus materias primas, las industrias fabrican y utilizan maderas con uniones dentadas en la elaboración de puertas; ya que valorizan piezas cortas de escaso valor y revalorizan piezas de tamaño comercial de baja calidad.

### 2.2.2 Ensamblajes en los bastidores

Los elementos del bastidor generalmente van unidos a través de un ensamble de caja y espiga, a menudo con una clavija de madera como refuerzo, y de un ensamble tarugado.

El ensamble de caja y espiga va encolado y acuñado. La espiga no debe exceder de 120 mm de ancho. Nutsch (2000). El ensamble debe llevar en la base de la espiga, el contraperfil de la moldura, o sea, una forma negativa de ella. Guzmán (1990)

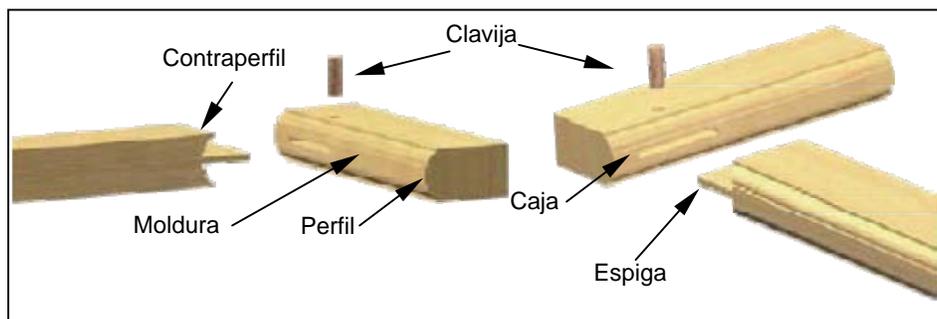


Figura 2. Piezas del bastidor de la puerta con unión caja y espiga

<sup>2</sup> Sello de Calidad para Puertas de Carpintería de Madera. <http://www.infomadera.net>

En el ensamble tarugado, el tarugo o taco puede ir a tope o a inglete. Las dimensiones del tarugo a emplear, deben tener directa relación con el ancho y el espesor de las piezas del bastidor. Los ensambles del bastidor, con piezas de menos de 150 mm de ancho llevan dos tarugos; las piezas de más de 150 mm llevan tres. El largo del tarugo ha de ser  $2 \times \frac{2}{3}$  del ancho de la pieza y su espesor  $\frac{2}{5}$  del de la pieza. Nutsch (2000). Para un buen contacto, en el ensamble, los tarugos han de ser 2 a 3 mm más cortos que la profundidad de los taladros (Nutsch 2000), para así poder absorber el sobrante de adhesivo. Este ensamble, al igual que el anterior, debe llevar en el travesaño un contraperfil de la moldura.

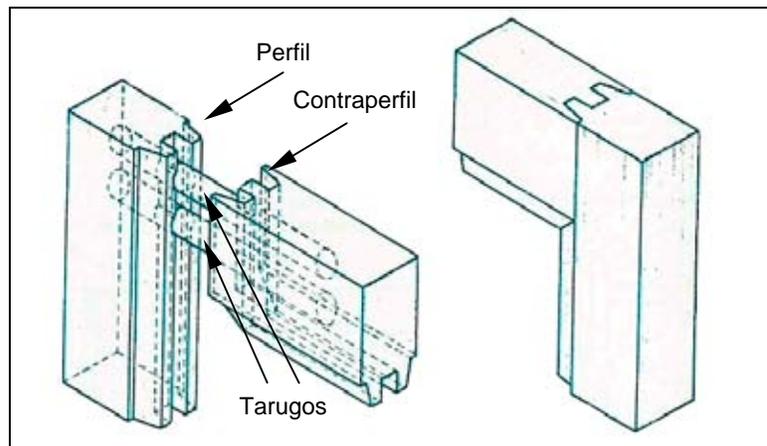


Figura 3. Piezas del bastidor de la puerta con unión tarugada

## Tarugos

Los tarugos o tacos de madera, pueden ser lisos o estriados transversal, espiral y longitudinalmente, con estrías gruesas o delgadas. Las estrías en los tarugos, permiten la expulsión del exceso de adhesivo que pueda producirse. Los diámetros más utilizados son: 6, 8, 10 y 12 mm. Nutsch (2000)

### 2.2.3 Encolado de los ensambles

Toda materia está constituida por átomos y moléculas las que están unidas entre si por valencias o fuerzas de naturaleza eléctrica. La técnica del encolado se basa en este principio y utiliza estas fuerzas para crear una unión entre dos cuerpos sólidos. Poblete (1978)

La teoría de cómo se encola la madera se basa en la formación de tres tipos de fuerzas. La fuerza de cohesión, que corresponde a la fuerza desarrollada entre las moléculas de adhesivo, este tipo de fuerza se forma sólo en la línea de cola. La fuerza de adhesión específica, que es la fuerza de naturaleza química desarrollada entre una molécula del adhesivo y la superficie de madera. Y por último, la fuerza de

adhesión mecánica, que corresponde al anclaje mecánico provocado por la penetración del adhesivo en la madera. Cualquier factor que limite la resina o bloquee puntos en la madera impedirá una adhesión adecuada. Poblete (2001)

La confección de una unión satisfactoria incluye factores tales como: La selección de un adhesivo adecuado al tipo de madera a unir, la elaboración de la madera y control de su contenido de humedad, la adquisición del equipo apropiado y el acondicionamiento de las uniones después del encolado. Un buen encolado depende, tanto del adhesivo como de la técnica; el consumidor y el fabricante deben colaborar a fin de obtener los mejores resultados. CORMA (2003)

Se considera una unión adhesiva satisfactoria, aquella en que la falla se produce en la madera y no en la línea de cola. Esto puede lograrse mediante una buena preparación de la madera o introduciendo cambios en el adhesivo, ya sea en el tipo, en su formulación o en las condiciones de aplicación. Poblete (1978)

Para las uniones en las puertas, Empresa Fourcade utiliza polivinilacetato (PVA), adhesivo a base de resina termoplástica sintética, y establece que cumplen con la norma alemana DIN-D4, sobre variaciones de temperatura y humedad. Empresas Fourcade

## **2.3 Factores que inciden sobre la resistencia**

### *2.3.1 Generalidades*

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas o aplicadas, con lo cual se puede controlar las formas de uso más adecuadas.

Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas, tanto de la madera como la de las uniones, se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

Los diferentes tipos de prueba a que se someten las uniones entregan valores que están directamente relacionados con la especie leñosa que se ha utilizado. De esta forma las pruebas a los adhesivos equivalen a las pruebas sobre las propiedades mecánicas de la unión. En el caso de encolado de piezas de madera nos encontramos con que los métodos que mejor indican la influencia del adhesivo en la unión son la determinación de las propiedades mecánicas de tracción y cizalle. Poblete (1978).

Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta, hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado. Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera. CORMA (2005)

### 2.3.2 Factores que inciden sobre la resistencia de la madera

La madera tiene una compleja estructura natural diseñada para servir las necesidades funcionales de una planta en vida. No siempre resulta evidente el por qué las probetas de una especie maderera determinada, extraídas de diferentes árboles o de un mismo árbol muestran una pronunciada diferencia en su densidad y en su resistencia. La variabilidad entre árboles y de la misma especie responde a diferencias genéticas, de ambiente o de ambas. Existe además, diferencias en las propiedades mecánicas, debido al tratamiento de la madera durante su elaboración. CORMA (2003)

Si se comparan las propiedades mecánicas del *Pseudotsuga menziessi* con las del *Pinus radiata* de similar edad, se puede concluir que las propiedades del primero son superiores, a pesar de que el peso específico del pino es mayor. Pérez (1982)

No cabe duda que las características de resistencia de la madera en general, dependen efectivamente del peso específico, si bien esta dependencia es función exclusiva del peso específico sólo cuando se descartan los restantes factores, que, hoy se sabe, tienen influencia en dichas características; basta recordar como ejemplo, que la desviación y dirección de las fibras, la nudosidad y especialmente el grado de humedad, tienen una gran importancia en las propiedades mecánicas. Por tanto, puede tomarse el peso específico para juzgar con probabilidad, pero no con certeza, la resistencia de una madera. Kollmann (1959)

Existe una serie de factores relacionados con la estructura natural de la madera que pueden afectar sus propiedades mecánicas. Esta se refleja en distintas características posibles de ponderar, de entre las cuales se pueden mencionar: defectos de la madera, densidad, contenido de humedad, entre otras. Diaz-vaz, Cuevas (1986).

### **Defectos de la madera**

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico-química de la madera, que afecte los aspectos de resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitante en su uso o aplicación. Pérez (1983)

Los defectos de la madera que mayormente inciden sobre las propiedades mecánicas o resistentes de la madera son: Nudos, grietas, rajaduras, granos o fibra

desviada, pudrición, perforación y colapso. Otros defectos que inciden en la resistencia, pero, en menor grado, son: Bolsillo de corteza o resina, acebolladuras, alabeos, médula y canto muerto. CORMA (2003)

Los defectos anteriores, son defectos propios de la madera. Existen también, defectos de la madera atribuibles a su elaboración como son: Escuadría irregular, grietas (de secado), alabeos, mal cepillado, etc. CORMA (2005)

### **Densidad de la madera**

La densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan.

Para Pérez (1983), la densidad de la madera es el criterio más satisfactorio para determinar sus características resistentes, pudiendo emplearse también como elemento de juicio en la selección o clasificación de piezas de madera.

Como se dijo anteriormente, según Kollmann (1959), la densidad o el peso específico de la madera, puede tomarse para juzgar con probabilidad, pero no con certeza, la resistencia de una madera.

La densidad de la madera de *Pinus radiata* es levemente superior a la madera de *Pseudotsuga menziessi*. Para Diaz-vaz *et al.* (2002), ambas especies poseen una densidad básica cercana a  $450 \text{ Kg/m}^3$ , siendo consideradas maderas de peso moderado.

La densidad depende de varios factores, entre los cuales están: la composición de las paredes celulares, el grosor de las paredes celulares, el tamaño de las porosidades y la composición de la celulosa. CORMA (2005)

Determinar la densidad de piezas de madera compuesta, es decir, madera laminada y con uniones *finger-joint*, resulta ser muy compleja y a la vez es muy variable.

### **Contenido de humedad**

Se entiende por contenido de humedad, a la masa de agua presente en una pieza de madera, expresada en porcentaje de la masa anhidra de la pieza.

Para Kollmann (1959), de la humedad de la madera dependen casi todas sus propiedades de resistencia.

Cuando la madera pierde agua bajo el punto de saturación de las fibras (PSF), cada célula se compacta, lo que provoca mayor rigidez y resistencia de las fibras, y por ende, un incremento de su resistencia. CORMA (2005). Sobre el PSF un aumento del contenido de humedad no tiene efecto sobre la resistencia. Pérez (1983)

### 2.3.3 Factores que inciden sobre la resistencia del encolado

#### Propiedades de la madera que inciden en el encolado

Las propiedades de la madera que afectan al encolado son varias y relativas a cada especie siendo la de mayor influencia la densidad. Sin embargo, cuando se requieren uniones de larga vida útil es importante considerar otros factores como hinchamiento y contracción, pH, presencia de sustancias oleosas que dificulten la penetración del adhesivo u otro tipo de exudantes que dificulten la unión. Poblete (1978).

Un estudio realizado por Carmona *et al.* (1998), donde se evaluó el comportamiento mecánico de uniones de madera encolada, en función de las variaciones de densidad presentes en la madera de *Pinus radiata*, demostró la gran influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad, existiendo un aumento significativo de la resistencia mecánica con incrementos en la densidad.

#### Propiedades del adhesivo que inciden en el encolado

El tiempo de reunión, la presión y la temperatura, tienen importancia sobre el endurecimiento del adhesivo, el que debe ser observado como un proceso de conversión desde el estado de solución al estado de gel. Poblete (1978)

## 2.4 Estudios similares

El Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, ha desarrollado estudios para determinar cargas de rotura en uniones tarugadas de puertas de madera. A continuación un cuadro donde se entregan los valores promedio (Kg.) obtenidos en uno de esos estudios.

Cuadro 2. Valores de ensayo de tracción a uniones tarugadas. Instituto de Tecnología de Productos Forestales

	Tipos de Tarugo		TOTAL
	Tarugo nativa Ø = 13 mm	Tarugo pino Ø = 13 mm	
<b>Promedio</b>	1159.3	1102.2	1130.8
<b>Máximo</b>	1869.5	2105.5	2105.5
<b>Mínimo</b>	715.5	282.5	282.5
<b>Desv. Standard</b>	408.4	636.7	517.567

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se describirá el material, el equipamiento y los procedimientos empleados para la realización del trabajo.

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Madera

El material de ensayo corresponde a probetas industriales de uniones tarugadas de madera constituida de *Pinus radiata* y uniones tarugadas de madera constituida de *Pseudotsuga menziessi*. Los ensambles fueron procesados por Empresas Fourcade.

##### 3.1.2 Forma y dimensión de las muestras

Se consideraron ensambles correspondientes a la unión larguero-travesaño, unión de 2 tarugos, del bastidor de la puerta; el espesor de los ensambles fue de 37 mm. Las dimensiones y la forma del ensamble para el ensayo, se describen en la siguiente figura:

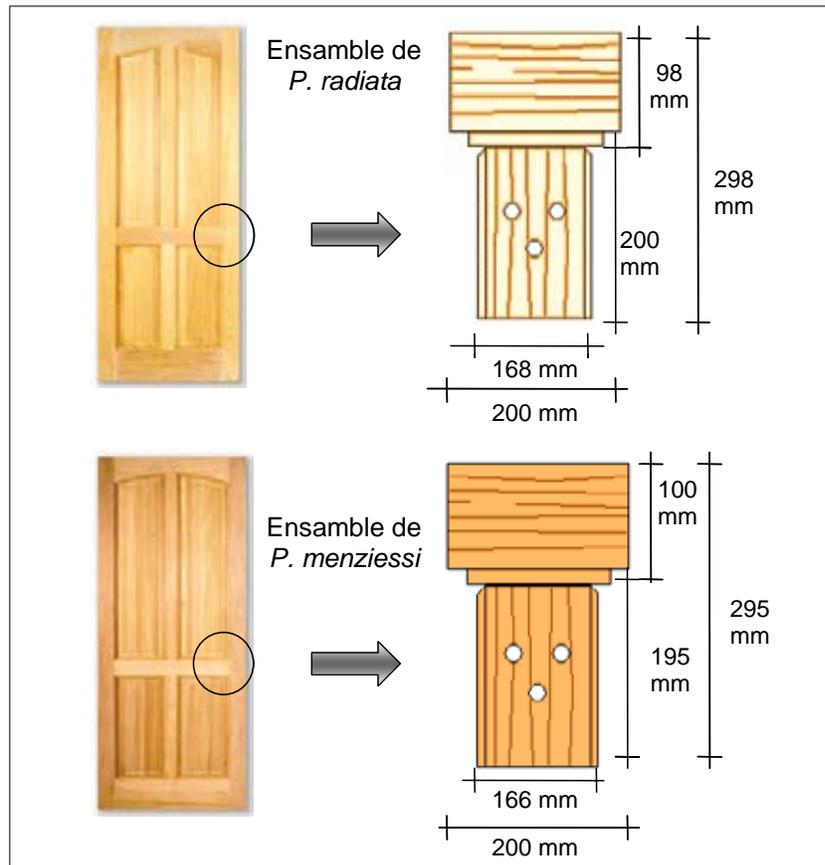


Figura 4. Forma y dimensiones de los ensambles

### 3.1.3 Equipos y accesorios

Los ensayos se realizaron en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile. Los equipos y accesorios utilizados fueron los siguientes:

- Máquinas del Instituto, para el dimensionado de los ensambles. (sierra circular, cepilladora y perforadora)
- Máquina universal de ensayos



Figura 5. Máquina Universal de Ensayos

- Accesorios para tracción, desarrollados en el Instituto.

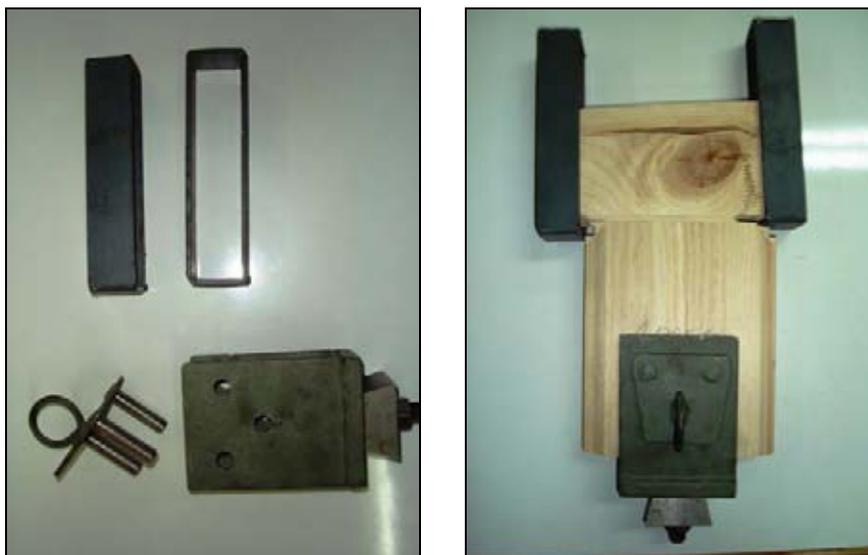


Figura 6. Accesorios para tracción

## 3.2 Método

### 3.2.1 Variable de ensayo

La variable de ensayo está relacionada con el tipo de tarugo empleado en los ensambles (especie y estría).

## Tarugos

Se utilizaron tres tipos de tarugos con diámetros de 15 mm, estriados espiralmente; de los cuales dos son de especie nativa, donde uno contaba con estría gruesa y el otro con estría delgada, y uno de especie *Pinus radiata* con estría gruesa.

Cuadro 3. Denominación de los tipos de tarugo

DENOMINACIÓN	TIPO DE TARUGO	
	Especie	Estría
Tarugo Tipo 1	Nativa	Gruesa
Tarugo Tipo 2	Nativa	Delgada
Tarugo Tipo 3	<i>P. radiata</i>	Gruesa

### 3.2.2 Tamaño de la muestra

Para determinar la cantidad de piezas a utilizar se estableció un número de repeticiones por ensayo, 10 por cada tipo de tarugo. Considerándose un total de 60 ensambles para los ensayos de tracción.

Cuadro 4. Número de ensambles utilizados para cada variable

VARIABLE	ESPECIE DEL ENSAMBLE		Nº Total de Muestras
	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pseudotsuga menziessi</i>	
	Nº de Muestras	Nº de Muestras	
Tarugo Tipo 1	10	10	20
Tarugo Tipo 2	10	10	20
Tarugo Tipo 3	10	10	20
<b>TOTAL</b>	30	30	60

### 3.2.3 Preparación de muestras

Los ensambles provenientes de Empresas Fourcade, fueron rotulados identificándose especie, tipo de tarugo y número de muestra.

Los ensambles fueron dimensionados para poder utilizar los accesorios de tracción desarrollados en el Instituto. Esta operación, fue realizada determinando que no afectaría, es decir, no variaría la resistencia de la unión tarugada.

Luego de esto, los ensambles fueron almacenados en un ambiente controlado, laboratorio que poseía  $20 \pm 2^\circ$  C de temperatura y  $50 \pm 2\%$  de humedad relativa, con el fin de homogenizar el contenido de humedad, hasta que logran un peso estable. De esta forma, se logró controlar parcialmente el contenido de humedad, variable muy influyente en la resistencia de las uniones.

### 3.2.4 Procedimiento del ensayo de tracción

La determinación de la resistencia en los ensambles, se realizó en la máquina universal de ensayos con la ayuda de los accesorios de tracción, desarrollados por el Instituto. Consistió en un esfuerzo de tracción paralelo al eje de los tarugos. La carga se aplicó a una velocidad lenta y constante hasta lograr el desprendimiento o la rotura de los elementos de la unión o la rotura de alguna pieza del ensamble. Se utilizó la velocidad estipulada en la Nch 975 Of.86 para el ensayo de tracción perpendicular a la fibra. Esta velocidad es de 2,5 mm/min, no variando más allá de un 25%.

La carga necesaria para producir alguno de los efectos citados se registró como carga de rotura.

## 3.3 Diseño experimental

A los datos obtenidos se les realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis de varianza con el software estadístico *STATGRAPHICS® Plus* versión 5.1 para determinar que si el tipo de tarugo, su estría y su especie, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la carga de rotura de los ensambles. Si de existir diferencias se les realizó un test de *Tukey* con un intervalo del 95% de confianza.

Cabe señalar, que para el análisis de varianza con respecto al tipo de estría, se compararon los tarugos tipo 1 y tipo 2. Para el análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo, se compararon los tarugos tipo 1 y tipo 3. Tanto para los ensambles en general, los ensambles de *Pinus radiata* y los ensambles de *Pseudotsuga menziesii*.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de extracción directa de las uniones tarugadas, enviadas por la empresa. Primero se realizó un análisis estadístico descriptivo, de las cargas de rotura, y luego el análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo, tipo de estría y especie del tarugo utilizado, tanto para los ensambles en general, ensambles de *Pinus radiata* y para los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*. Se complementa la información con una descripción de los tipos de falla.

### 4.1 Análisis estadístico

En el siguiente cuadro, se presentan el resumen de la estadística descriptiva de las cargas de rotura, expresada en Kg.

Cuadro 5. Resumen de medidas estadísticas de los ensambles en general

	Ensamblados						TOTAL
	TARUGO TIPO 1		TARUGO TIPO 2		TARUGO TIPO 3		
Especie del Ensamble	<i>Pinus Radiata</i>	<i>Pseudotsuga menziessi</i>	<i>Pinus Radiata</i>	<i>Pseudotsuga menziessi</i>	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pseudotsuga menziessi</i>	
<b>Promedio</b>	1660.30	1507.20	1428.75	1501.55	1787.67	1511.90	1566.13
<b>Máximo</b>	2336.00	1888.00	1722.00	1895.00	2106.50	2027.00	2336.00
<b>Mínimo</b>	1200.50	1248.50	979.50	1098.00	1375.00	1257.00	979.50
<b>Desv. Stand.</b>	366.15	220.02	219.37	249.20	272.48	224.18	280.02

El valor promedio de carga de rotura fue de 1566.13 Kg., un 38% mayor al valor obtenido en el estudio realizado por el Instituto, a la vez presentó una menor desviación estándar, demostrando un mejor proceso en la elaboración de ensamblado. Esto puede explicarse, a que la empresa utiliza una buena elaboración de las piezas de madera, un adecuado adhesivo y realiza un buen acondicionamiento de las uniones después del encolado. Un buen indicador de las adecuadas condiciones de ensamblado y encolado utilizadas, fue que la rotura se produjo fundamentalmente en la madera y no en la línea de ensamblaje. Poblete (1978) (ver Tipos de falla, Anexo 3).

El tarugo tipo 3, que corresponde al tarugo de especie de *Pinus radiata* y de estría gruesa, fue el que obtuvo el mayor valor promedio de carga de rotura, tanto en los ensambles de *Pinus radiata* (Figura 7) como en los de *Pseudotsuga menziessi*, pero en este último con menor proporción (Figura 8). Esta condición difiere del estudio realizado por el Instituto, donde el mayor valor promedio de carga de rotura fue para los ensambles con tarugo de especie nativa, aunque esta diferencia fue sólo de un 5% mayor. Esto puede explicarse recurriendo al concepto de la gran variabilidad que

posee la madera o determinando que las calidades del proceso de encolado fueron diferentes. Volviendo a este estudio, se puede explicar que las uniones con tarugos de *Pinus radiata* fueron más resistentes, debido a que esta especie posee una densidad moderada, teniendo una mayor facilidad el adhesivo de penetrar en ella y formar una mejor adhesión mecánica. En cambio, los tarugos tipo 1 y 2 al ser de una especie nativa tienen una mayor densidad dificultando la penetración del adhesivo, obteniendo una baja adhesión mecánica.

En las siguientes figuras, se entregan los promedios de carga de rotura diferenciados por especie del ensamble y comparados por el tipo de tarugo.

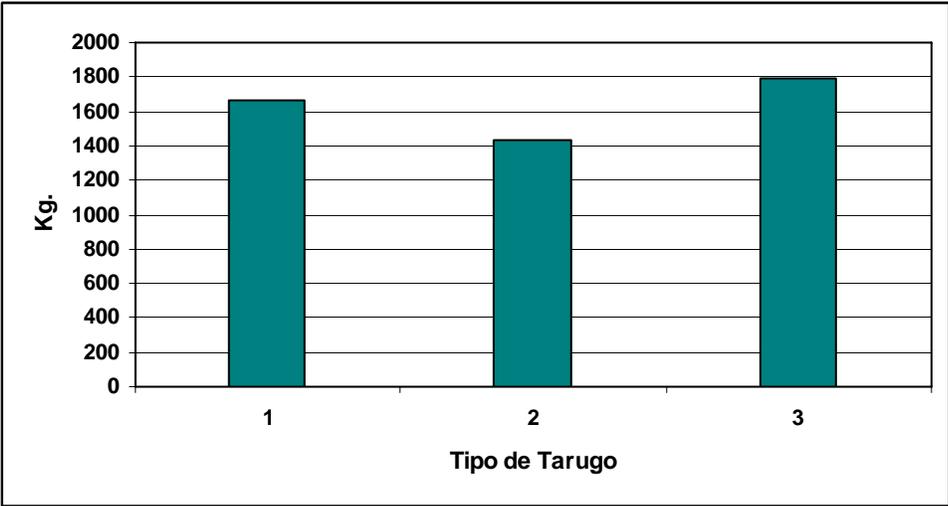


Figura 7. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de tarugo en los ensambles de *Pinus radiata*

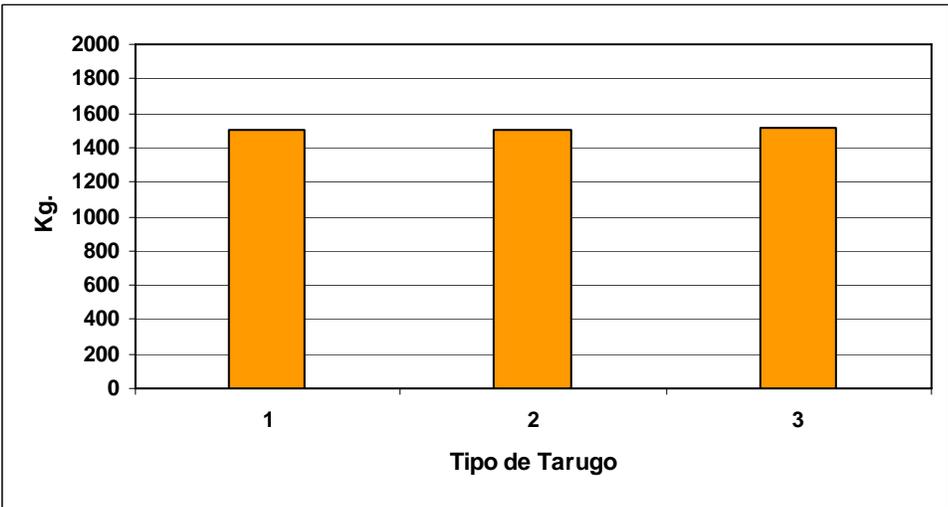


Figura 8. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de tarugo en los ensambles de *Pseudotsuga menziesii*

Si analizamos las mayores cargas promedio de rotura, correspondieron a los ensambles que utilizaron los tarugos tipo 3 y 1 ambos tarugos con estría gruesa. En los gráficos de las siguientes figuras se aprecia claramente, en los ensambles de *Pinus radiata*, que los valores de carga de rotura son mayores en los ensambles con tarugos de estría gruesa. En cambio, en los ensambles de *Pseudotsuga menziessi* esta diferencia no es tan notoria.

En las siguientes figuras, se entregan los promedios de carga de rotura diferenciados por especie del ensamble y comparados por el tipo de estría del tarugo.

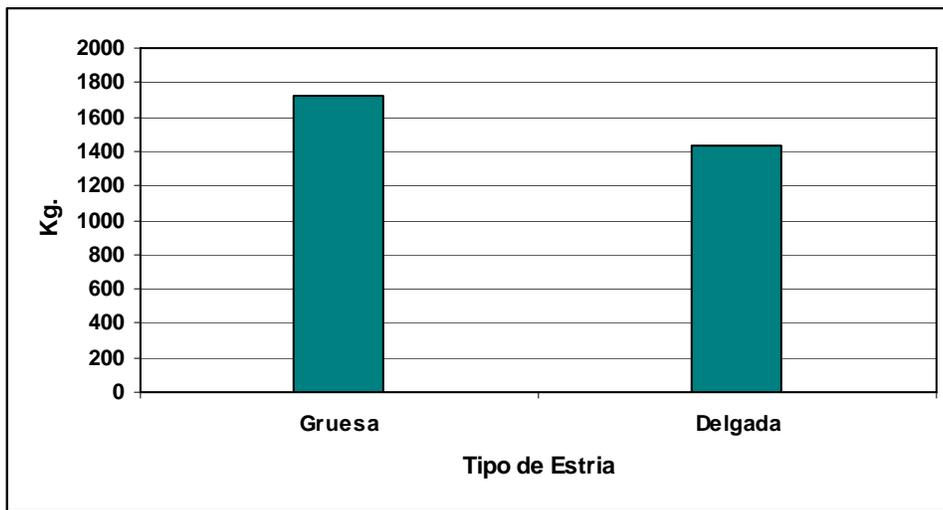


Figura 9. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de estría del tarugo en los ensambles de *Pinus radiata*

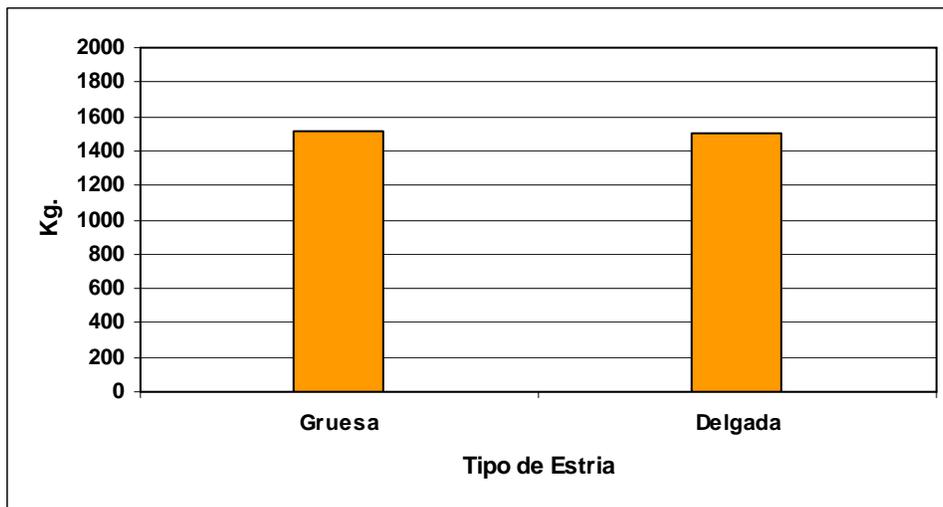


Figura 10. Comportamiento de la carga promedio de rotura al variar el tipo de estría del tarugo en los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*

#### 4.1.1 Análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo

##### Ensamblajes en general

El análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo utilizado en los ensambles, arrojó un p-valor de 0.1068, al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto al tipo de tarugo que utilizan.

Como se mencionó anteriormente, el valor promedio de carga de rotura es mayor con el tarugo tipo 3, (especie *Pinus radiata* de estría gruesa), alcanzando los 1649.79 Kg., seguido por el tarugo tipo 1 (especie nativa y estría gruesa), 1583.75 Kg., siendo mayor al promedio del tarugo tipo 2, que es de estría delgada. Es decir, los ensambles con tarugos de estría gruesa presentan una mayor carga de rotura. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

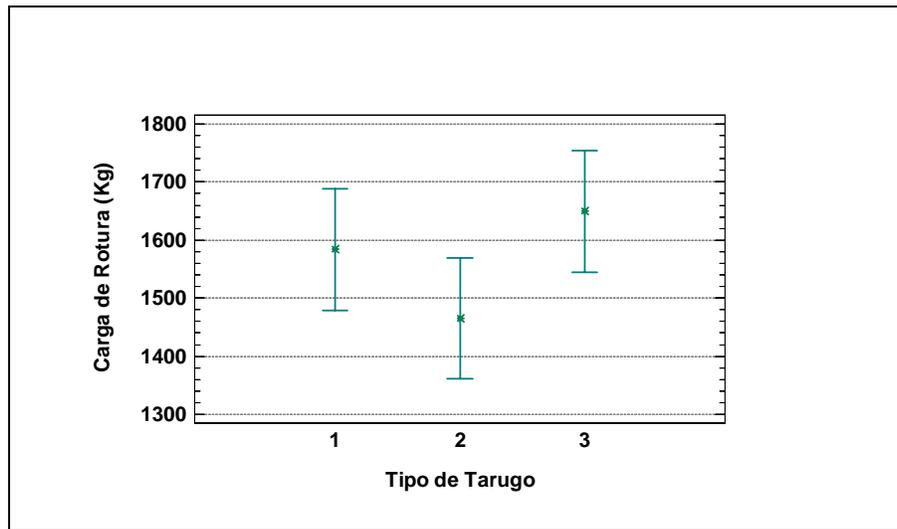


Figura 11. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según el tipo de tarugo

Por lo anteriormente citado, resultaría interesante analizar la carga de rotura con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado.

##### Ensamblajes de *Pinus radiata*

El análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo utilizado en los ensambles de *Pinus radiata*, arrojó un p-valor de 0.0335. Un p-valor menor a 0,05 indica influencias estadísticas significativas; por lo tanto al ver los resultados, se puede afirmar que la carga de rotura, en los ensambles de *Pinus radiata*, se ve afectada en forma significativa por el tipo de tarugo, con un nivel de confianza del 95%.

Para determinar entre que tipos de tarugo existieron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con el método de *Tukey* con un intervalo del 95% de confianza. Existe una diferencia significativa entre el tarugo de especie nativa de estría delgada, tarugo tipo 2, y el tarugo de especie *Pinus radiata* de estría gruesa, tarugo tipo 3. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

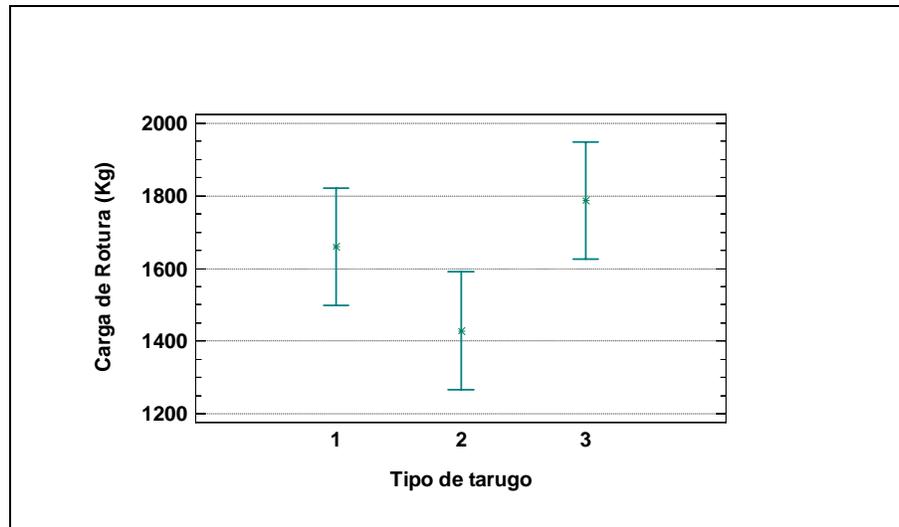


Figura 12. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de *Pinus radiata*, según el tipo de tarugo

### Ensamblados de *Pseudotsuga menziessi*

El análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo utilizado en los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, arrojó un p-valor de 0.9950. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas con el tipo de tarugo en los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*.

Los valores promedio de carga de rotura fueron similares en los tres tipos de tarugo, siendo mayor el ensamble con tarugo tipo 3. Siendo mayor en 10.35 Kg. con respecto al tarugo tipo 2 y sólo 4.7 Kg. con respecto al tarugo tipo 1. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

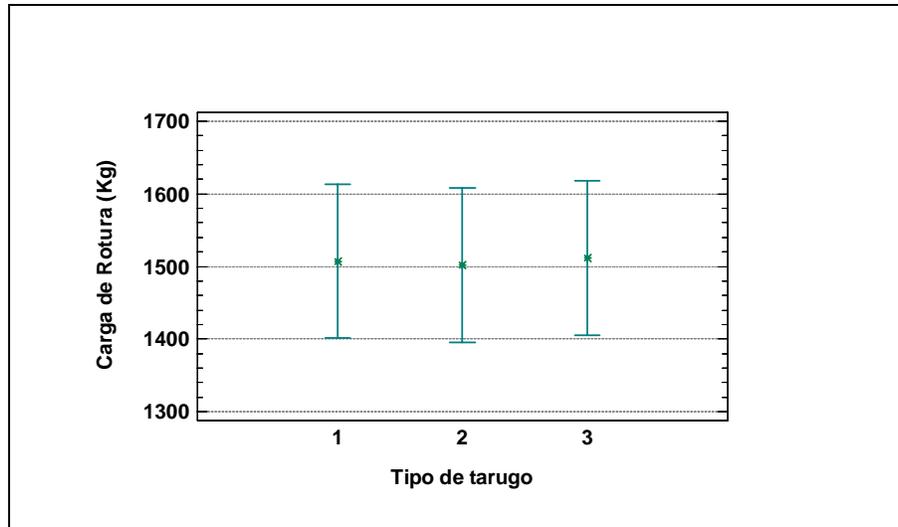


Figura 13. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, según el tipo de tarugo

#### 4.1.2 Análisis de varianza con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado

##### Ensamblajes en general

El análisis de varianza con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado en los ensambles, arrojó un p-valor de 0.1735. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto al tipo de estría del tarugo que utilizan.

Cabe destacar, que el valor promedio de carga de rotura para los ensambles con tarugos de estría gruesa, fue de 1583.75 Kg., generándose un delta de 118.60 Kg. con respecto a la carga de rotura de los ensambles con tarugo de estría delgada. Esta diferencia, puede explicarse también con la teoría de la adhesión. El tarugo ingresa muy ajustado en las perforaciones formándose una línea de cola muy delgada entre los adherendos, por ende, se forma una baja cohesión. Al poseer el tarugo estrías gruesas ayuda a extraer el exceso de cola, pero a la vez lo retiene en sus galerías formadas por las estrías, produciendo una mayor línea de cola aumentando la cohesión, ayudando en la resistencia del ensamble. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

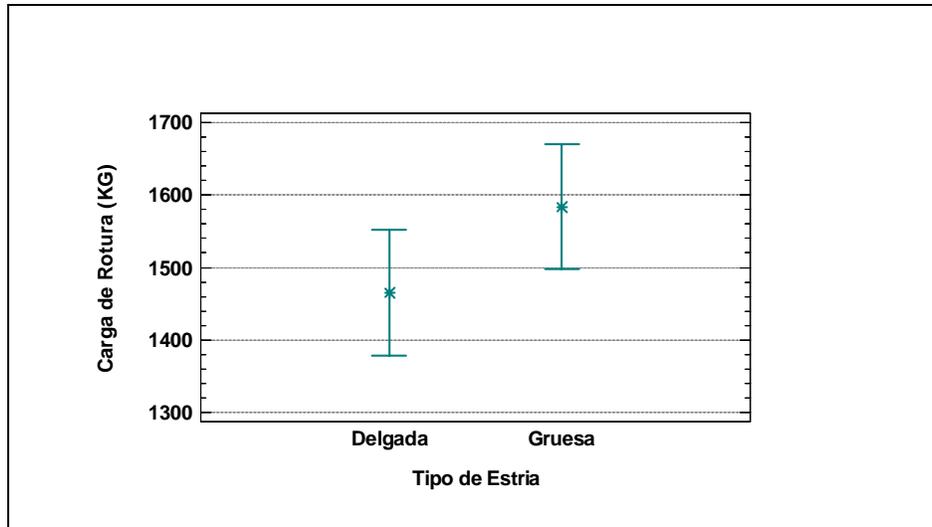


Figura 14. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según el tipo de estria del tarugo

### Ensambles de *Pinus radiata*

El análisis de varianza con respecto al tipo de estria del tarugo utilizado en los ensambles de *Pinus radiata*, arrojó un p-valor de 0.1034. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto al tipo de estria del tarugo que utilizan los ensambles de *Pinus radiata*.

El valor promedio de carga de rotura para los ensambles con tarugos de estria gruesa fue de 1660.3 Kg., 231.25 Kg. más resistente que los ensambles con tarugos de estria delgada. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

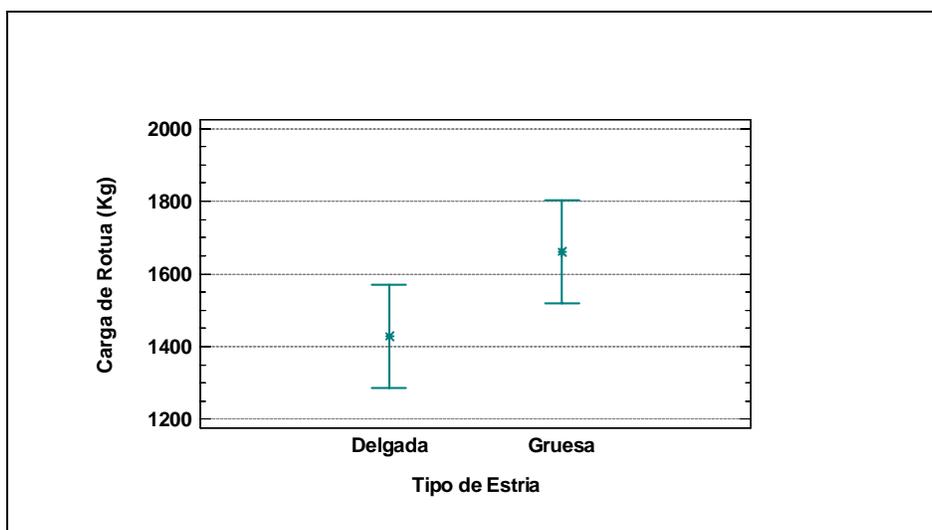


Figura 15. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de *Pinus radiata*, según el tipo de estria del tarugo

## Ensamblajes de *Pseudotsuga menziessi*

El análisis de varianza con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado en los ensamblajes de *Pseudotsuga menziessi*, arrojó un p-valor de 0.9577. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto al tipo de estría del tarugo que utilizan los ensamblajes de *Pseudotsuga menziessi*.

Los valores promedios de carga de rotura fueron similares con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado. 1507.2 Kg., del ensamble con tarugo de estría gruesa, sólo 5.65 kg. mayor al ensamble con tarugo de estría delgada. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

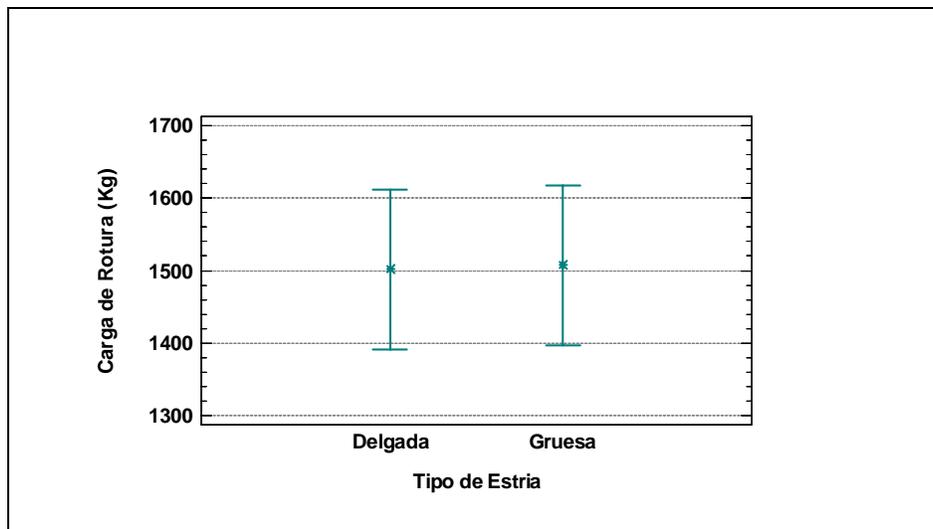


Figura 16. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensamblajes de *Pseudotsuga menziessi*, según el tipo de estría del tarugo

### 4.1.3 Análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado

#### Ensamblajes en general

El análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado en los ensamblajes, arrojó un p-valor de 0.4820. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto a la especie del tarugo que utilizan.

La carga promedio de rotura para los ensamblajes con tarugo de especie *Pinus radiata*, fue de 1649.50 Kg. mayor en 65.75 Kg. a la carga promedio de los ensamblajes con tarugos de especie nativa. Esta diferencia queda representada claramente en la siguiente figura:

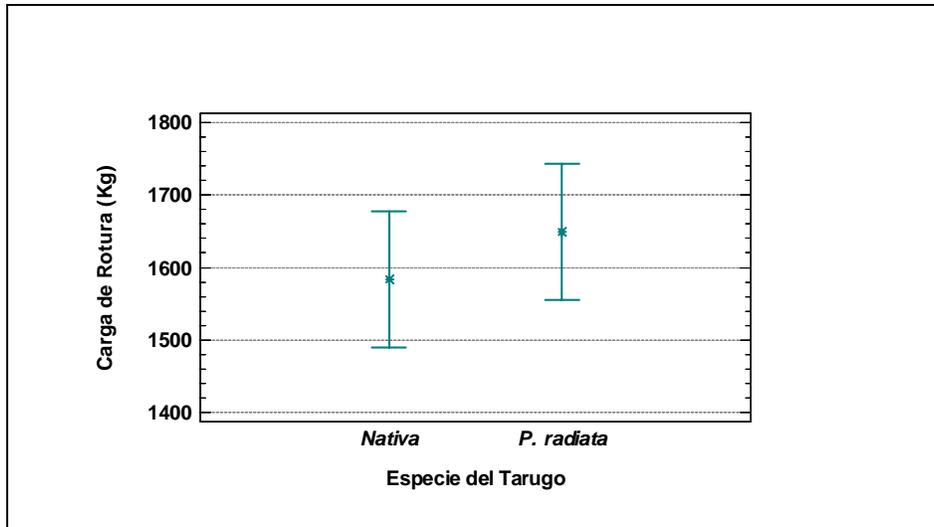


Figura 17. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles en general, según la especie del tarugo

### Ensambles de *Pinus radiata*

El análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado en los ensambles de *Pinus radiata*, arrojó un p-valor de 0.3912. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto a la especie del tarugo que utilizan los ensambles de *Pinus radiata*.

El valor promedio de carga de rotura para los ensambles con tarugos de especie *Pinus radiata*, fue de 1787.1 Kg., 126.8 Kg. más resistente que los ensambles con tarugos de especie nativa. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

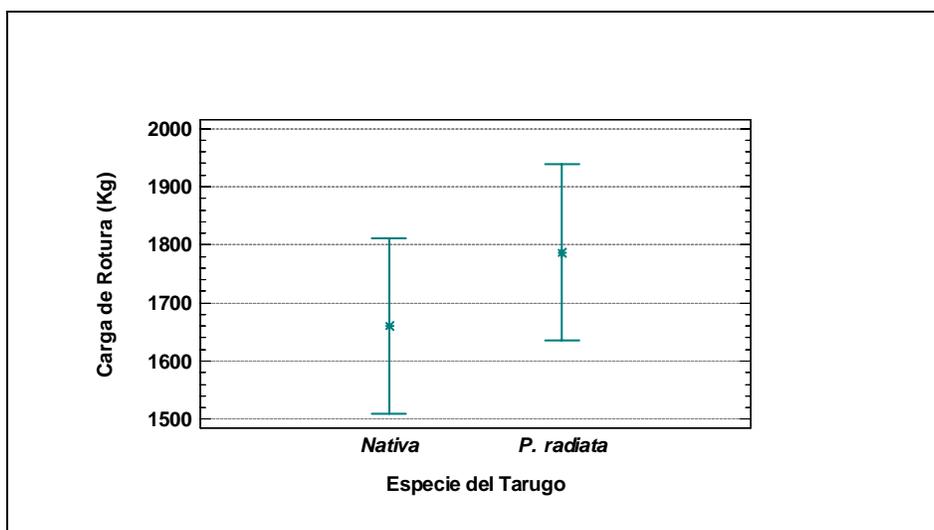


Figura 18. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de *Pinus radiata*, según la especie del tarugo

## Ensamblajes de *Pseudotsuga menziessi*

El análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado en los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, arrojó un p-valor de 0.9628. Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas en las cargas de rotura con respecto a la especie del tarugo que utilizan los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*.

Los valores promedios de carga de rotura fueron similares con respecto a la especie del tarugo utilizado. 1511.9 Kg., del ensamble con tarugo de especie *Pinus radiata*, sólo 4.7 kg. mayor al ensamble con tarugo de especie nativa. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

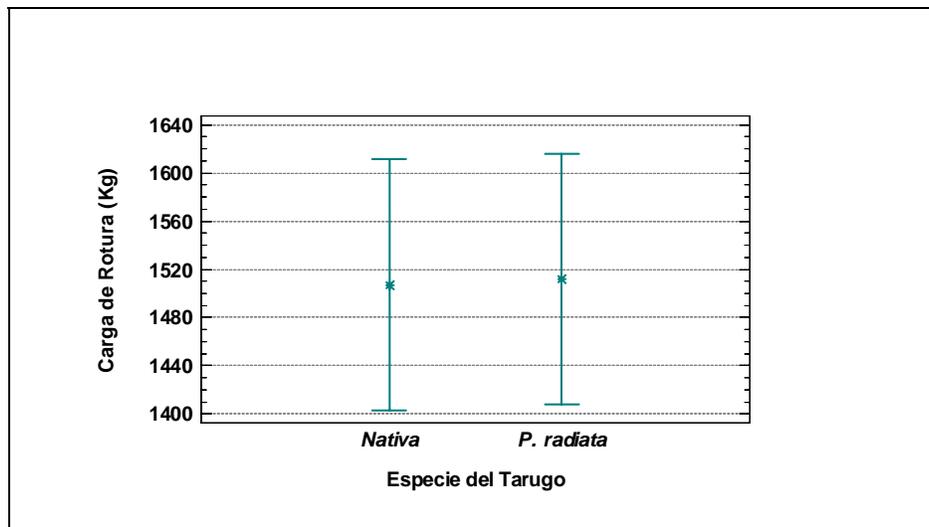


Figura 19. Promedio de cargas de rotura con intervalo de confianza al 95%, para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, según la especie del tarugo

## 4.2 Tipos de Falla

Como se mencionó anteriormente, un buen indicador de las adecuadas condiciones de ensamblado y encolado utilizadas, fue que la rotura se produjo fundamentalmente en la madera y no en la línea de ensamblaje. El 48% de los tipos de falla obtenidos en los ensayos (ver Anexo 4), corresponden a esta cualidad. Sólo un 12%, de los tipos de falla, correspondió al deslizamiento en los dos tarugos, falla ligada a un mal encolado en el ensamble. Esto queda claramente representado en la siguiente figura:

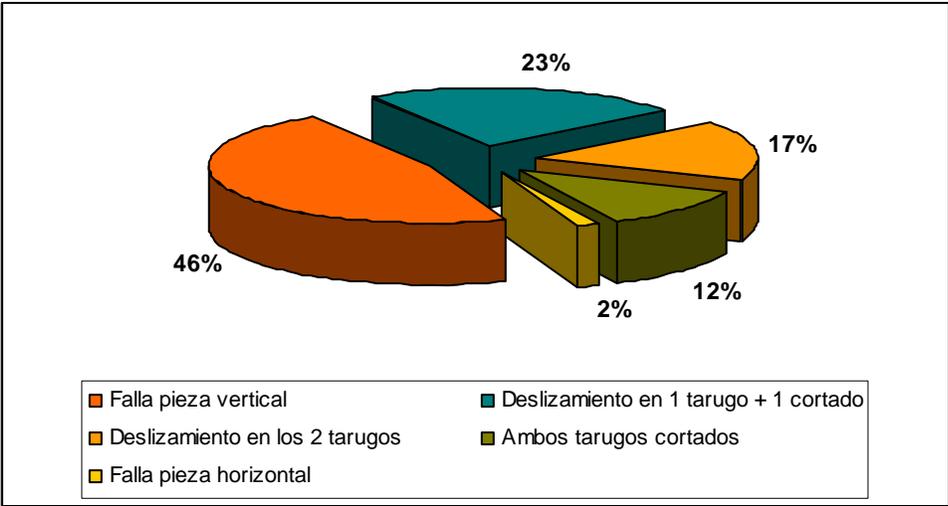


Figura 20. Tipos de falla obtenidos en los ensayos de los ensambles en general

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el valor promedio de carga de rotura, para los ensambles tarugados en general, fue superior al obtenido en estudio similar que realizó el Instituto de Tecnología de Productos Forestales, de la Universidad Austral de Chile; siendo de 1566.13 Kg., mientras la otra fue de 1130.80 Kg. Además, la desviación estándar en este trabajo fue menor a la del estudio del Instituto.

Considerando lo anterior y agregando que el 48% de las fallas obtenidas en los ensayos de tracción correspondieron a roturas de las piezas del ensamble, las uniones tarugadas ensayadas presentan una buena resistencia mecánica, sin considerar el tipo de tarugo que utilicen.

El valor promedio de carga de rotura, para los ensambles tarugados de las puertas de *Pinus radiata*, fue de 1625.38 Kg. y de 1506.88 Kg. para los ensambles tarugados de las puertas de *Pseudotsuga menziessi*.

Mediante los análisis estadísticos, se obtuvo que no existe diferencia significativa entre las cargas de rotura de los ensambles ensayados, con respecto al tipo de tarugo, al tipo de estría del tarugo y a la especie del tarugo que utilizan.

Dentro de los ensambles de las puertas de *Pinus radiata* ensayados, existió una diferencia estadística significativa entre las cargas de rotura con respecto al tipo de tarugo utilizado. Esta diferencia se dio entre el tarugo de especie nativa de estría delgada, tipo 2, y el tarugo de especie *Pinus radiata* de estría gruesa, tarugo tipo 3.

Los ensambles que tuvieron una mayor carga de rotura con respecto al tipo de tarugo, fueron los que utilizaron el tarugo tipo 3, especie *Pinus radiata* de estría gruesa, alcanzando un promedio de 1649.50 Kg.

Los ensambles que tuvieron una mayor carga de rotura con respecto al tipo de estría del tarugo, fueron los que utilizaron tarugos con estría gruesa, 1583.75 Kg. con respecto a 1465.15 kg. de carga de rotura en ensambles con tarugos de estría delgada.

Si analizamos desde el punto de vista económico, el tarugo de *Pinus radiata* presenta un costo inferior a un tarugo de especie nativa, y desde el punto de vista ecológico y ambiental, certificar la producción de puertas sólidas con materiales puramente de plantaciones, es una gran ventaja competitiva en el mercado internacional, y próximamente en el nacional.

Con lo anterior expuesto más los datos obtenidos en este Trabajo de Titulación, el ensamble ensayado con mejor resistencia mecánica a la extracción directa de la unión tarugada, que cumple con la óptima relación calidad-precio, y además con lo ambiental, es el que utiliza tarugos de especie *Pinus radiata* con estría gruesa.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Carmona, R.; Espinoza, F.; Bull, C. 1998. *Influencia de la Densidad de la Madera en la Encolabilidad de Pinus radiata D. Don*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. INTERNET: <http://revistacienciasforestales.uchile.cl>
- Corporación Nacional de la Madera. CORMA. 2003. *Compendio de Directrices para Enseñanza en Ingeniería*. Centro de Transferencia Tecnológica Pino radiata. Proyecto CORFO-FONTEC. 272 p.
- Corporación Nacional de la Madera. CORMA. 2005. *Manual La Construcción de Viviendas en Maderas*. INTERNET: <http://www.corma.cl> (Mayo 13, 2005).
- Díaz-vaz, J.; Cuevas, H. 1986. *Mecánica de la Madera*. Universidad Austral de Chile. 45 p. (Publicación Docente N° 23).
- Díaz-vaz, J.; Devlieger, F.; Poblete, H.; Juacida, R. 2002. *Maderas Comerciales de Chile*. 3ª ed. Chile, Marisa Cuneo Ediciones. 91 p.
- Empresas Fourcade. *Industrial. Puertas y Complementos*. INTERNET: <http://www.fourcade.cl> (Noviembre 26, 2005).
- Guzmán, E. 1990. *Curso Elemental de Edificación*. 2ª ed. Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. v. 3, 182 p.
- Instituto Nacional de Normalización. 2004. Nch 354 Of.04. *Hojas de puertas lisas de madera – Requisitos generales*. Normas chilenas oficiales.
- Instituto Nacional de Normalización. 2000. Nch 446 Of.2000. *Arquitectura y construcción – Puertas y ventanas- Terminología y clasificación*. Normas chilenas oficiales.
- Instituto Nacional de Normalización. 1986. Nch 975 Of.86. *Madera – Determinación de las propiedades mecánicas – ensayo de tracción perpendicular a las fibras*. Normas chilenas oficiales.
- Juacida, R.; Quintanar, J.; Berterreche, A. 1992. *Secado de la Madera: I Secado Natural al aire libre*. Universidad Austral de Chile. 32 p. (Publicación Docente N° 35).
- Kollmann, F. 1959. *Tecnología de la Madera y sus aplicaciones*. Trad. Por Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. España. 675 p.
- Nutsch, W. 2000. *Tecnología de la Madera y el Mueble*. Trad. por José Company. 13ª ed. España, Reverté S. A. 509 p.

Pérez G., V. 1982. *Propiedades Mecánicas Asociadas del Pino oregón (Pseudotsuga menziessi) Crecido en Chile*. Santiago Chile, INFOR. División Industrias. Informe Técnico N° 85. 17 p.

Pérez G., V. 1983. *Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas*. Santiago Chile, CONAF/PNUD/FAO-CHI. Documento de Trabajo N° 47. 451 p.

Poblete W., H. 1978. *Uniones de Madera con Adhesivos*. Universidad Austral de Chile. 43 p. (Publicación Técnica N° 1).

Poblete W., H. 2001. *Tableros de Partículas*. Valdivia, editorial El Kultrún. 177p.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**

***Abstract***

## **ABSTRACT**

The general objective of this study is to determine the mechanical resistance to the direct extraction of the plug joint crossbeam – main beam, in doors of *Pinus radiata* D. Don and *Pseudotsuga menziessi* (Mirb) Franco. Evaluating three types of plugs. With this objective was made test in the Institute of Technology of Forest Products of the Universidad Austral de Chile, using assemblies industrial manufactured by Empresas Fourcade.

In the study were evaluated grooved spirally plug: two plugs of native species, one with thick groove (type 1) and the other one with thin groove (type 2) and the third species plug *Pinus radiata*, with thick groove (type 3).

The load break average, of them assemblies rehearsed; it was of 1566 Kg., superior to a similar study carried out by the Institute of Technology of Forest Products.

By means of the statistical analyses, it was obtained that significant difference doesn't exist among the break loads of you assemble them rehearsed, with regard to plug's type, to the type of groove of the plug and the plug's species that use. Inside you assemble them of the doors of *Pinus radiata*, a significant difference existed among the plug type 2 and the plug type 3.

Based on the resistance, it was determined that the best assemblies to the direct extraction of the plug joint, it is the one that uses plug with thick groove and of species *Pinus radiata*. Reaching a value average of 1650 Kg., of break load.

Key words: Mechanical resistance, loads of break, plug joint, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziessi*.

## **ANEXO 2**

### **Estadística descriptiva y Análisis de varianza**

## Estadística descriptiva para ensambles de puertas de *Pinus radiata*

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las carga de rotura para ensambles de *Pinus radiata*, según tipo de tarugo empleado

RESUMEN ESTADISTICO	TARUGOS			TOTAL
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	
Media	1660.30	1428.75	1787.67	1625.38
Mediana	1673.75	1487.00	1839.50	1598.25
Moda	N/R	N/R	N/R	1722.00
Media geométrica	1625.04	1412.15	1767.67	1594.83
Varianza	134064.0	48122.3	74243.7	102353.0
Desviación Estándar	366.148	219.368	272.477	319.926
Mínimo	1200.50	979.50	1375.00	979.50
Máximo	2336.00	1722.00	2106.50	2336.00
Rango	1135.5	742.5	731.5	1356.5
Coefficiente de Variación	22.0531%	15.3538%	15.2469%	19.6831%
Suma	1660.3	14287.5	17871.0	48761.5

## Estadística descriptiva para ensambles de puertas de *Pseudotsuga menziessi*

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las carga de rotura para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, según tipo de tarugo empleado

RESUMEN ESTADISTICO	TARUGOS			TOTAL
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	
Media	1507.20	1501.55	1511.9	1506.88
Mediana	1400.50	1521.25	1426.75	1426.75
Moda	N/R	N/R	N/R	N/R
Media geométrica	1493.26	1482.36	1498.25	1491.27
Varianza	48409.6	62099.0	50258.7	49911.8
Desviación Estándar	220.022	249.197	224.184	223.409
Mínimo	1248.50	1098.00	1257.00	1098.00
Máximo	1888.00	1895.00	2027.00	2027.00
Rango	639.5	797.0	770.0	929.0
Coefficiente de Variación	14.598%	16.596%	14.828%	14.8259%
Suma	15072.0	15015.5	15119.0	45206.5

## Análisis de varianza con respecto al tipo de tarugo

Cuadro 3. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de tarugo, en los ensambles

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	349160.0	2	174580.0	2.33	0.1068
Intra grupos	4.27715 E+06	57	75037.7		
Total (corregido)	4.62631 E+06	59			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

Cuadro 4. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de tarugo, en ensambles de *Pinus radiata*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	660361.00	2	330181.00	3.86	0.0335
Intra grupos	2.30787 E+06	27	85476.7		
Total (corregido)	2.96823 E+06	29			

Un p-valor menor a 0,05 indica influencias estadísticas significativas.

Cuadro 5. Comparaciones múltiples para cada Tipo de Tarugo, según método de *Tukey* con 95% de confianza, para ensambles de *Pinus radiata*

Comparaciones Múltiples para cada Tipo de Tarugo			
Tipo de Tarugo	Nº de obs.	Promedio	Grupos homogéneos
2: Nativa, delgada	10	1428.75	A
1: Nativa, gruesa	10	1660.30	B B
3: <i>P. radiata</i> , gruesa	10	1787.10	C
Contraste		Diferencia	+/- Limites
1 – 2		231.55	324.27
1 – 3		-126.8	324.27
2 – 3		*-358.35	324.27
* denota una diferencia estadística significativa			

Cuadro 6. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de tarugo, en ensambles de *Pseudotsuga menziessi*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	537.117	2	268.558	00.1	0.9950
Intra grupos	1.4469 E+06	27	53589.1		
Total (corregido)	1.44744 E+06	29			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

### Análisis de varianza con respecto al tipo de estría del tarugo utilizado

Cuadro 7. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de estría del tarugo, en los ensambles

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	140660.0	1	140660.0	1.92	0.1735
Intra grupos	2.77795 E+06	38	73104.0		
Total (corregido)	2.91861 E+06	39			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

Cuadro 8. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de estría del tarugo, en ensambles de *Pinus radiata*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	268077.0	1	268077.0	2.94	0.1034
Intra grupos	1.63968 E+06	18	91093.2		
Total (corregido)	1.90775 E+06	19			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

Cuadro 9. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, tipo de estría del tarugo, en ensambles de *Pseudotsuga menziesii*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	159.612	1	159.612	0.00	0.9577
Intra grupos	994577.0	18	55254.3		
Total (corregido)	9945736.0	19			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

### Análisis de varianza con respecto a la especie del tarugo utilizado

Cuadro 10. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, especie del tarugo, en los ensambles

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	43230.6	1	43230.6	0.50	0.4820
Intra grupos	3.25866 E+06	38	85754.1		
Total (corregido)	3.30189 E+06	39			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

Cuadro 11. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, especie del tarugo, en ensambles de *Pinus radiata*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	80391.2	1	80391.2	0.77	0.3912
Intra grupos	1.87477 E+06	18	104154.0		
Total (corregido)	1.95516 E+06	19			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

Cuadro 12. Tabla ANOVA para carga de rotura con un factor, especie del tarugo, en ensambles de *Pseudotsuga menziessi*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	110.45	1	110.45	0.00	0.9628
Intra grupos	888014.0	18	49334.1		
Total (corregido)	888124.0	19			

Al tener un p-valor mayor a 0.05, indica que no hay influencias estadísticas significativas.

### **ANEXO 3**

**Cuadros y gráficos con los tipos de falla, según especie de ensamble y tipo de tarugo y fotografías representativas de los tipos de falla**

## Tipos de falla para ensamblajes de puertas *Pinus radiata*

Cuadro 1. Tipos de falla para ensamblajes de *Pinus radiata*, con tarugo tipo 1 (especie nativa, estría gruesa)

Ensamble	Tipo de Falla
1	Falla pieza vertical
2	Falla pieza vertical
3	Falla pieza vertical
4	Falla pieza vertical
5	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
6	Ambos tarugos cortados
7	Falla pieza vertical
8	Falla pieza vertical
9	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
10	Ambos tarugos cortados

Cuadro 2. Tipos de falla para ensamblajes de *Pinus radiata*, con tarugo tipo 2 (especie nativa, estría delgada)

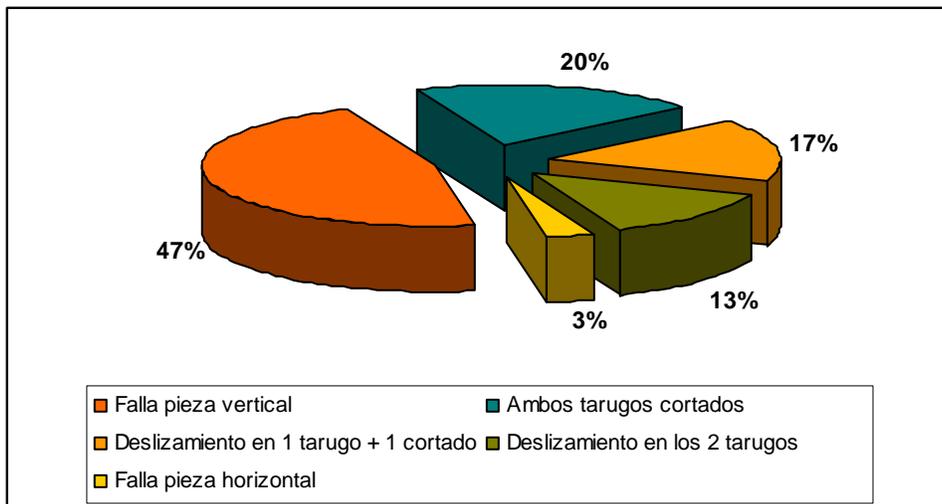
Ensamble	Tipo de Falla
1	Falla pieza vertical
2	Falla pieza vertical
3	Falla pieza vertical
4	Deslizamiento en los 2 tarugos
5	Falla pieza horizontal
6	Deslizamiento en los 2 tarugos
7	Falla pieza vertical
8	Deslizamiento en los 2 tarugos
9	Deslizamiento en los 2 tarugos
10	Falla pieza vertical

Cuadro 3. Tipos de falla para ensambles de *Pinus radiata*, con tarugo tipo 3 (especie *Pinus radiata*, estría delgada)

Ensamble	Tipo de Falla
1	Ambos tarugos cortados
2	Falla pieza vertical
3	Falla pieza vertical
4	Ambos tarugos cortados
5	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
6	Ambos tarugos cortados
7	Falla pieza vertical
8	Ambos tarugos cortados
9	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
10	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado

### Gráfico del tipo de fallas en ensambles de puertas de *Pinus radiata*

Figura 1. Tipos de falla obtenidos en los ensayos de los ensambles de *P. radiata*



## Tipos de falla para ensambles de puertas de *Pseudotsuga menziessi*

Cuadro 4. Tipos de falla para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, con tarugo tipo 1 (especie nativa, estría gruesa)

Ensamble	Tipo de Falla
1	Falla pieza vertical
2	Falla pieza vertical
3	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
4	Falla pieza vertical
5	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
6	Falla pieza vertical
7	Deslizamiento en los 2 tarugos
8	Falla pieza vertical
9	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
10	Falla pieza vertical

Cuadro 5. Tipos de falla para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, con tarugo tipo 2 (especie nativa, estría delgada)

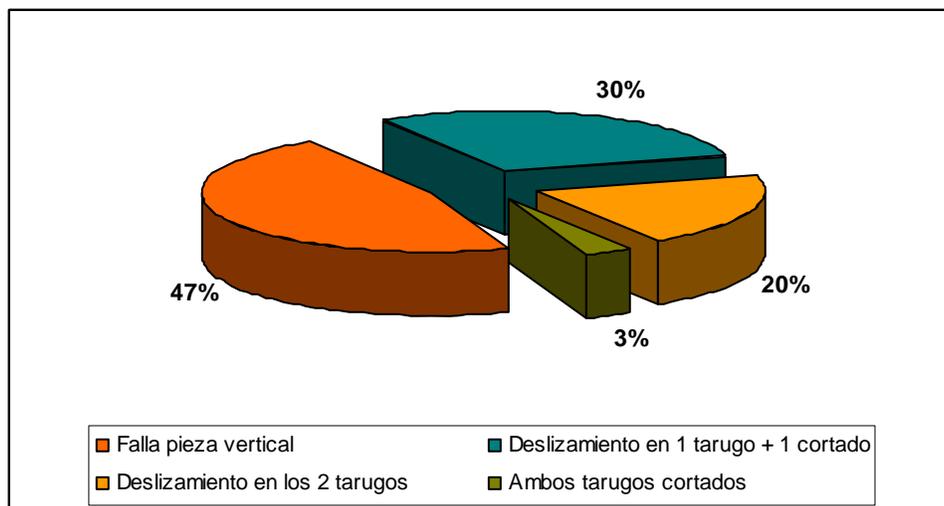
Ensamble	Tipo de Falla
1	Falla pieza vertical
2	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
3	Deslizamiento en los 2 tarugos
4	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
5	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
6	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
7	Deslizamiento en los 2 tarugos
8	Deslizamiento en los 2 tarugos
9	Falla pieza vertical
10	Falla pieza vertical

Cuadro 6. Tipos de falla para ensambles de *Pseudotsuga menziessi*, con tarugo tipo 3 (especie *Pinus radiata*, estría delgada)

Ensamble	Tipo de Falla
1	Falla pieza vertical
2	Falla pieza vertical
3	Falla pieza vertical
4	Ambos tarugos cortados
5	Falla pieza vertical
6	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado
7	Falla pieza vertical
8	Deslizamiento en los 2 tarugos
9	Deslizamiento en los 2 tarugos
10	Deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado

**Gráfico del tipo de fallas en ensambles de puertas de *Pseudotsuga menziessi***

Figura 2. Tipos de falla obtenidos en los ensayos de los ensambles de *Pseudotsuga menziessi*



## Fotografías representativas de los tipos de falla en los ensambles

Figura 3. Imagen representativa de falla pieza vertical



Figura 4. Imagen representativa de deslizamiento en los 2 tarugos



Figura 5. Imagen representativa de deslizamiento en 1 tarugo + 1 cortado



Figura 6. Imagen representativa de ambos tarugos cortados

