



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Tableros de Contrachapados de *Eucalyptus nitens*: Efecto de las diferentes dosificaciones de adhesivo en las propiedades físico-mecánicas.**

Patrocinante: Dr. Hernán Poblete W.

Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al título de **Ingeniero en Maderas.**

**LIZANDRO MAURICIO MARAGAÑO FEHRMANN**

VALDIVIA  
2005

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Dr. Hernán Poblete Wilson	5.5
Informante:	Dr. Roberto Juacida Percaz	5.7
Informante:	Sr. Cesar Pino Soto	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.

---

Dr. Hernán Poblete W.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1 <i>Eucalyptus nitens</i> su rol y su importancia</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Relación madera adhesivo madera</b>	<b>4</b>
2.2.1 Importancia del adhesivo en las propiedades del tablero	4
2.2.2 Factores de madera que influyen en la adhesión	4
2.2.3 Factores del adhesivo que influyen en la adhesión	5
2.2.4 Adhesivos disponibles para tableros contrachapados	6
<b>2.3 Experiencias similares en Chile</b>	<b>7</b>
2.3.1 Efecto del gramaje	7
2.3.2 Incorporación de otras especies	7
<b>3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Materiales</b>	<b>8</b>
3.1.1 Madera	8
3.1.2 Adhesivo	8
3.1.3 Equipos y herramientas	8
<b>3.2 Método</b>	<b>9</b>
3.2.1 Selección de láminas	9
3.2.2 Medición de los gramajes	9
3.2.3 Aplicación del adhesivo	9
3.2.4 Formación del tablero	10
3.2.5 Prensado	11
3.2.6 Climatizado	11
3.2.7 Fabricación de probetas para ensayos	12
3.2.8 Propiedades y normas	12
<b>4. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>15</b>
4.1. Tratamiento interior seco: Resultados de resistencia al cizalle.	15
4.2. Tratamiento exterior a la intemperie: Resultados de resistencia al cizalle	16

4.3	Resultados de resistencia a la flexión paralela y perpendicular a las fibras	18
5.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>19</b>
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>20</b>
	<b>ANEXOS</b>	
1	Abstract	
2	Valores por probeta.	
3	Resultados estadísticos.	

## RESUMEN EJECUTIVO

Se estudió el efecto de las dosificaciones de adhesivo en las propiedades físico – mecánicas de los tableros contrachapado fabricados de *Eucalyptus nitens*. Con este objetivo se realizaron ensayos en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, con probetas preparadas de tal manera que las variables influyentes en las resistencias de la unión conocida se encontraran controladas para manejar como única variable la cantidad de adhesivo esparcido en cada chapa que conforma el tablero.

El estudio fue realizado para gramajes de 175, 180, 190, 195 y 215 g/m<sup>2</sup> los cuales fueron obtenidos aplicando adhesivo a las láminas de madera, a través de un encolado manual.

Como resultados de los análisis se encontraron aumentos de las resistencia al cizalle para los rangos de gramajes de 190 y 195 g/m<sup>2</sup> Produciéndose una reducción significativa de la resistencia al cizalle para los valores de 175 y 215 g/cm<sup>2</sup>.

Las probetas ensayadas superaron las normas establecidas, tanto para las resistencia al cizalle y flexión.

Para los ensayos de flexión no se observó un efecto del gramaje sobre las propiedades mecánicas.

Palabras clave: Gramaje, láminas de madera, cizalle, flexión.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la producción de tableros contrachapados la especie de madera que se utilice es de importancia fundamental.

Las características de la madera (organolépticas, densidad, valor de pH, entre otros) determinan la facilidad con que el material se deja trabajar y definen la calidad estética y las propiedades mecánicas del tablero (Kollmann, Kuenzi y Stamm, 1975).

Al incorporar una nueva especie se deben realizar estudios que permitan estimar los rendimientos, la calidad de las láminas y comprobar el éxito de la unión de láminas por medio de un adhesivo.

Según el INFOR (1997) en Chile existen más de 1.9 millones de hárs plantadas con especies exóticas de rápido crecimiento, de las cuales 350.000 hárs corresponden a eucalipto. En Chile el “catastro de plantaciones forestales de eucaliptos” de INFOR-CORMA registra en 1995 (Forestal Mininco, Arauco y Monte Águila) 46.429 hárs. de *Eucalyptus nitens*. En la actualidad, se estima que esta superficie ha aumentado a aproximadamente 140.000 hárs.

Esta especie de rápido crecimiento registra diámetros (DAP) de hasta 40 cm a los 15 años, lo que sumado a su excelente forma y nudosidad difusa y con pequeños diámetros hace que sea una especie que tiene muy buenas perspectivas para la producción de láminas.

En la fabricación de contrachapados se debe tener en cuenta muchos factores como son, la utilización de una nueva especie, el tipo de resina y la cantidad de ésta aplicada en la unión encolada, estos entre otros factores tienen gran incidencia en el uso que se le podrá dar al tablero y los costos de producción.

El adhesivo utilizado y la forma de llevar a cabo el proceso, son determinantes en la obtención de un producto de alta calidad (Lorraine, 2000). La resistencia de la especie con que se fabrica un contrachapado es un factor importante pero no el único.

Considerando lo anterior se ha planteado como objetivo general del presente trabajo, evaluar la influencia de diferentes dosificaciones de adhesivo sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*.

Para cumplir con el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- a) Fabricar tableros contrachapados con madera de *Eucalyptus nitens* y con distintas cantidades de adhesivo fenólico.
- b) Determinar valores de resistencia del tablero sometido a flexión y cizalle para los diferentes tipos de gramaje utilizados.

- c) Analizar y relacionar los valores obtenidos con la influencia de los cambios de gramajes establecidos en su fabricación.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 *Eucalyptus nitens* su rol y su importancia

Esta especie ha cobrado gran importancia en Chile debido a su excelente desarrollo. Se trata de la especie de más rápido crecimiento plantada en el país y posee una gran resistencia a las Heladas. A pesar de ser una especie de introducción relativamente reciente, 1967, entre los eucaliptos ocupa el segundo lugar en importancia después de *E. globulus*.

En Chile se han establecido más de 350.000 ha de plantaciones de varias especies de Eucaliptos, siendo Globulus la principal (56%), seguida por Nitens (40%). El principal destino de las plantaciones de Eucaliptos, correspondía a la producción de madera para minas, postes, varas, estacas y leña entre otros. Una proporción de esas plantaciones se manejó para la producción de rollizos aserrables, en las décadas del 50 al 80. A fines de la década del 80, con el inicio de las exportaciones de rollizos y astillas y la demanda interna por fibra corta la forestación con Eucalipto cambió hacia la obtención de madera para pulpa, en cortas rotaciones (10 a 14 años) (Hermosilla, 1998).

Paralelo a lo anterior, la industria secundaria de la madera, experimentó un importante desarrollo, producto principalmente de las ventas en mercados internacionales y la mayor demanda doméstica. Entre las especies de latifoliadas de mayor aceptación por la industria del mueble y la construcción se encuentra el eucalipto, el que ofrece una elevada potencialidad, por su gran aceptación en el mercado, por sus elevadas propiedades de trabajabilidad, por su resistencia mecánica, dureza, aceptación de recubrimientos superficiales y aspecto.

Para los forestadores de Eucalipto, que manejan sus rodales para la producción de madera para pulpa, es indispensable el tener certeza de que los volúmenes aserrables y foliados que el bosque produzca, podrán ser utilizados por la industria. Esto posibilitaría un manejo del recurso con objetivos que permitirían mejorar su valor económico.

Las principales dificultades tecnológicas consisten en el nivel de aprovechamiento de los rollizos. Estos problemas tienen como principales variables las tensiones de crecimiento y de secado, cuyos efectos son importantes en el producto final, ya sea láminas de madera seca para la formación del contrachapado o madera aserrada seca.

Para el caso de la fabricación de contrachapados, el escenario se muestra favorable por los diámetros y la forma cilíndrica que desarrollan los trozos. Las debilidades que presenta la especie para estos usos están relacionadas con el hecho de que las plantaciones de eucaliptos no están debidamente manejadas, a causa de esto en una primera instancia la producción de contrachapados de eucalipto se destinaría más bien a un tablero estructural.

## 2.2 Efectos en la relación madera adhesivo madera

En el tablero de contrachapado interactúan principalmente dos materiales; el adhesivo y la madera. Ambos son importantes en la formación del tablero, y la variación de uno de estos es determinante en la calidad final del producto.

### 2.2.1 Importancia del adhesivo en las propiedades del tablero

La teoría de la adhesión se basa en que toda materia tiene por constituyente a átomos y moléculas solidamente unidas entre si por valencias o fuerzas de naturaleza eléctrica. En función de estas fuerzas es posible crear uniones entre dos cuerpos sólidos (Poblete, 1978).

En las uniones de madera con un adhesivo, las fuerzas que condicionan la resistencia de las uniones presentan diversos tipos de acción: por una parte, la adherencia específica y la adherencia mecánica y por otra, las fuerzas de cohesión del adhesivo.

La adherencia específica se refiere a las fuerzas de atracción molecular entre el adhesivo y las superficies unidas (adherendos), ésta se considera la principal fuerza responsable de la resistencia de las uniones. Por su parte, la adherencia mecánica corresponde a un anclaje mecánico del adhesivo al penetrar en las cavidades superficiales de la madera (Perez, 1979; Pizzi, 1983).

La resistencia de la unión también es condicionada por la resistencia interna de la línea de cola, que depende de la cohesión o fuerza con que se unen entre si las moléculas del adhesivo (Poblete, 1978).

### 2.2.2 Factores de la madera que influyen en la adhesión

Principalmente en la adhesión intervienen dos grandes factores, los propios de la madera, que en este caso se estudia una especie que no es tradicional en este tipo de productos y por otra parte los factores propios del adhesivo,

**Densidad de la madera.** La densidad de la especie es el factor de la madera que tiene mayor influencia sobre el encolado (Poblete, 1978).

La gama de densidades en maderas secas para tableros contrachapados y chapas oscila entre 0,40 y 0,70 g/cm<sup>3</sup> aproximadamente, gozando de preferencia las especies cuya densidad oscila entre 0,50 y 0,55 g/cm<sup>3</sup> (FAO, 1968).

En el caso de la madera de *Eucaliptus nitens* la densidad promedio es de 0,51 g/cm<sup>3</sup> (Poblete, 2002), teniendo así una ventaja para la producción de tableros contrachapados y chapas.

**Contenido de humedad de la madera y pH.** El contenido de humedad de la madera es uno de los principales factores, dado que su variación puede provocar

cambios dimensionales, los que producirán fuerzas o tensiones que pueden ser dañinas en las uniones (Pérez, 1979).

En general se recomienda que el contenido de humedad de la madera, al momento del encolado debe fluctuar entre 4 y 12% (Poblete, 1978).

El pH de la madera tiene gran influencia en el encolado, ya que afecta la velocidad de cambio de la viscosidad del adhesivo, o su paso al estado sólido. De esta forma tendremos que ciertas especies aceleran el proceso de fraguado de la cola, mientras que otras lo retardarán (Poblete, 1978).

Por ultimo se debe agregar que maderas con niveles extremos de pH, por lo general, producen uniones débiles (Poblete, 1978).

### *2.2.3 Factores del adhesivo que influyen en la adhesión*

**Viscosidad del adhesivo.** La viscosidad de la mezcla adhesiva es un factor que se debe controlar cuidadosamente dentro del proceso de encolado para mantenerla dentro de un rango satisfactorio (Pizzi, 1983).

La viscosidad también tiene influencia sobre el esparcimiento del adhesivo, ya que este debe ser aplicado en estado de fluidez tal, que permita, por una parte, esparcirlo fácilmente por toda la superficie y por otra evitar que escurra fuera de la unión al aplicar presión (Poblete, 1978). Viscosidades muy altas harán difícil esparcir el adhesivo y viscosidades bajas harán que éste escurra fuera del plan de cola (Gupta y Seghal, 1979).

Otro factor que puede ser controlado a través de la viscosidad es la penetración del adhesivo (Poblete, 1978). La obtención de uniones de alta resistencia requiere que el adhesivo líquido penetre en los poros y cavidades de la madera, para lograr el aumento del área efectiva de las superficies unidas y el anclaje mecánico (Hoekstra y Fritzius, 1957).

**Influencia de la cantidad de resina sólida por metro cuadrado (gramaje) en la unión.** La resistencia de la unión está muy ligada a la cantidad de resina sólida esparcida, puesto que para cada tipo de adhesivo se recomienda una determinada cantidad que permitirá obtener un resultado óptimo de la unión (Poblete, 1978).

Puesto que el encolado tiene una gran incidencia en los costos de producción de contrachapado (40% de los costos totales), la cantidad de resinas por metros cuadrado de unión tiene, además del efecto sobre la resistencia de la unión, una incidencia económica sobre el proceso de producción de estos tableros.

En Chile se han realizado algunas experiencias en este sentido. Los resultados de esos trabajos se presentarán en el punto 2.4.

#### 2.2.4 Adhesivos disponibles para tableros contrachapados

Para desarrollar este nuevo producto debemos conocer la calidad que éste generará previamente, o sea, como ya se a dicho anteriormente las láminas obtenidas del debobinado del *Eucalyptus nitens* tendrán gran concentración de nudos en forma difusa y otros defectos, debido a que las plantaciones disponibles no están debidamente manejadas. Dejando como primera opción la fabricación de tableros contrachapados estructurales, o sea, estos tableros en primera instancia no serán decorativos, si no que se desempeñarán como tablero estructural, facultándolo a estar en el exterior.

**Interior y exterior.** Los tableros contrachapados se fabrican en dos grandes tipos: para usos interiores y para usos exteriores. Los primeros, son generalmente armados con adhesivos en base a urea formaldehído, mientras que los segundos utilizan como adhesivo una mezcla de componentes en base a fenol formaldehído.

Los tableros para uso interior están hechos sólo para aplicaciones en donde éstos están permanentemente protegidos de la humedad.

Los tableros para exterior son los más usados en aplicaciones industriales y en el área de la construcción, por la estrecha dependencia que existe con la resistencia y duración de los tableros, bajo condiciones de gran esfuerzo (Lorraine, 2000).

**Adhesivos que proporciona el mercado.** Los adhesivos son fabricados a base de resinas sintéticas, es decir, productos de la industria química, cuyas materias primas son derivadas del carbón, aire, petróleo o gas natural (Pérez, 1979).

El mercado proporciona para la industria del tablero dos de los principales adhesivos, con características y propiedades diferentes.

**Urea formaldehído.** La resina de urea formaldehído es de color claro y produce una línea de cola prácticamente imperceptible. En su fabricación se disuelve y condensa neutralizado (De Bruyne, 1957).

Estos adhesivos pueden fraguar con temperatura en frío (20°C), dependiendo del tipo de catalizador que se agregue (Poblete, 1978). En la actualidad, los formulados para altas temperaturas, son los que mas están utilizando en la industria de contrachapado.

Su durabilidad falla a la intemperie a los pocos años, resiste el ensayo de agua fría, pero falla al ensayo de agua hirviendo (Perez, 1979).

**Fenol formaldehído (PF).** Es un adhesivo sintético termoendurecible que, por un aumento de la temperatura o en presencia de un catalizador ácido o por ambas situaciones simultáneamente, se transforma en un estado infusible e insoluble

(De Bruyne, 1957). Este adhesivo es resistente a la intemperie, microorganismos, agua fría y caliente, vapor y calor seco. El fraguado de se produce por una reacción entre los grupos fenol y formaldehído (Poblete, 1978).

El principal inconveniente es poseer una coloración roja acentuada, lo que la hace inadecuada para ciertas aplicaciones (Galante, 1953).

Como anteriormente se ha señalado que la madera de *Eucalyptus nitens* no se encuentra manejada para la fabricación de tableros decorativos (interior), por lo tanto las láminas de maderas obtenidas se destinarían a la fabricación de tableros estructurales (exteriores) quedando así preferentemente el uso de fenol formaldehído (PF).

### **2.3 Experiencias similares realizadas en Chile**

En Chile se han realizados variados estudios en relación a los contrachapados, estos han llegado a las siguientes conclusiones.

#### *2.3.1 Efecto del gramaje*

La variación del gramaje ya ha estado sujeto a estudios, considerando el mismo tipo de adhesivo (PF), pero otros tipos de especies. En 1987 es sometido a ensayos con resistencia al cizalle tableros de *Laurelia philippiana looser* y *aextoxicon puntctatum*, con valores de contenido de resina sólida de 70, 80, 90 g/m<sup>2</sup> de unión. Los resultados obtenidos superaron todas las exigencias de la norma DIN, tanto la *Laurelia philippiana looser* como el y *aextoxicon puntctatum* se maximizan las resistencias al cizalle cuando se emplean mayores concentraciones de resina sólida (Barrueto, 1987).

#### *2.3.2 Incorporación de otras especies*

Al igual que el estudio anterior se sometieron a ensayos con resistencia al cizalle contrachapados de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Ende, especie que no se considera tradicional en la fabricación de contrachapados. De esta especie se construyeron tableros con diferentes gramajes (120 y 150 g/m<sup>2</sup>), ambos con fenol formaldehído (Quappe, 1986).

De los resultados se concluyó, que las resistencia al cizalle de los tableros, para las dos cantidades de adhesivo, las resistencias resultaron superiores al doble de la exigida por la norma.

En ambos estudios se llegó a una observación general, que la variable de mayor influencia sobre la calidad de la unión, fue la calidad de la unión y especie utilizada.

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Madera

Para la fabricación de los tableros se utilizó madera de *Eucalyptus nitens* previamente elaboradas por medio de debobinado, de tal manera que las chapas presentaron las siguientes características:

- Espesor nominal de la chapa: 2,5 mm.
- Calidad: libre de defectos.
- Contenido de humedad: aproximadamente un 8%.
- Temperatura de las chapas: menos de 35 °C.

##### 3.1.2 Adhesivo

El adhesivo utilizado fue un adhesivo fenolico OXIMIX 2217, proporcionado por la empresa Oxiquim S.A, el cual es una mezcla adhesiva, lista para utilizar, fabricada en base a formaldehído especialmente formulada para la fabricación de tableros contrachapados estructurales de uso exterior.

Cuadro 1. Especificaciones técnicas del adhesivo

Propiedad	Rango Especificado
Aspecto	Líquido viscoso color marrón
Contenido de sólidos (%)	42.0 – 44.0
Viscosidad Brookfield (cps)	5000 – 7000
Densidad (gr/ml)	1.195 – 1.205
Alcalinidad	5,8 – 6,2

##### 3.1.3 Equipos y herramientas

**Balanzas de precisión.** Se utilizó una balanza electrónica, con una precisión de 0,1 gramo. Esta fue utilizada para comprobar de forma fácil y precisa la cantidad de adhesivo que se aplicó a los tableros.

**Calibrador de espesor.** El calibrador es un dispositivo mecánico que fue utilizado para medir los espesores de las láminas de madera o chapas y así seleccionar aquellas laminas que cumplan con los requisitos de uniformidad de espesores.

**Xilohigrómetro.** Instrumento electrónico digital que se utilizó para verificar que el contenido de humedad de las chapas esté dentro de los rangos deseados.

**Encoladora de rodillo.** Herramienta manual con la cual se buscó lograr una dispersión homogénea del adhesivo sobre la lámina.

**Prensa.** Se utilizó una prensa de dos platos en la cual es posible controlar la temperatura, tiempo y presión requeridos en el proceso de fabricación.

**Maquina universal de ensayo.** Con esta máquina se realizaron los diferentes ensayos a las probetas tanto de flexión como cizalle.

## **3.2 Método**

### *3.2.1 Selección de láminas*

Se seleccionaron aquellas láminas libres de defectos tales como agujeros, ataque de hongos, pudriciones, diferencia de espesor y valores fuera del rango aceptable en el contenido de humedad, además de contar con estos requisitos de calidad, se eligieron las chapas de mejor aspecto para ser utilizadas como las caras del tablero.

Se utilizaron cinco chapas por tablero, para la fabricación de cinco diferentes tipos de gramaje. Doce tableros para la elaboración de tres tipos de gramaje y cuatro tableros para obtención de dos tipos de gramajes, teniendo así, la selección de 80 chapas en total, para la realización del estudio.

### *3.2.2 Medición de los gramajes*

Los gramajes utilizados en el estudio fueron los siguientes: 175 – 180 – 190 -195 - 215 (g/m<sup>2</sup>) los cuales fueron previamente medidos en la balanza de precisión.

Para los gramajes de 180 – 195 y 215 se confeccionaron un total de doce tableros, o sea, cuatro tableros por cada gramaje. Para la confección de los gramajes 175 y 190 se fabricaron dos tableros por cada gramaje.

### *3.2.3 Aplicación del adhesivo*

Se aplicó el adhesivo sobre la superficie de las láminas, previo pesaje de las chapas y confirmación del espesor el cual debía ser uniforme, Se tuvo presente que las láminas deberían estar libres de partículas o polvo y en lo posible presentar una rugosidad baja y pocas imperfecciones, al igual que se encontrase con una humedad que estuviera dentro del rango de 4 a 8 % y una temperatura de la chapa que no mayor a los 35 °C.

Cuadro 2. Cantidad de adhesivo esparcida

Tablero	Esparcido promedio (g)	Gramaje promedio (g/m <sup>2</sup> )
1	70	195
2	70	195
3	78	215
4	78	215
5	78	215
6	78	215
7	70	195
8	70	195
9	65	180
10	65	180
11	65	180
12	65	180
13	63	175
14	63	175
15	68	190
16	68	190

En este punto resulto muy difícil obtener una cantidad de adhesivo exacto e igual en cada tablero por eso la tabla muestra aproximaciones de los rangos obtenidos.

#### 3.2.4 Formación del tablero

Los tableros fueron formados por cinco láminas de madera, alternando la orientación de las fibras en 90 grados.

El esparcido del adhesivo en las láminas de maderas se realizó en un periodo de tiempo de 12 minutos simulando lo requerido en la industria. El preensado de 7 kg/cm<sup>2</sup> durante 5 minutos. Finalizado este tiempo se dejó reposar el tablero alrededor de 10 minutos, antes de llevarlo a la prensa. Este proceso se realizó para así emular los movimientos que tiene un tablero en su fabricación industrial.

### 3.2.5 Prensado

El prensado se realizó en una prensa de dos platos experimental, en la cual se aplicó al tablero una presión máxima de  $15 \text{ kg/cm}^2$ , con la temperatura de  $150^\circ \text{ C}$  y un factor de tiempo de  $1 \text{ min/mm}$ .

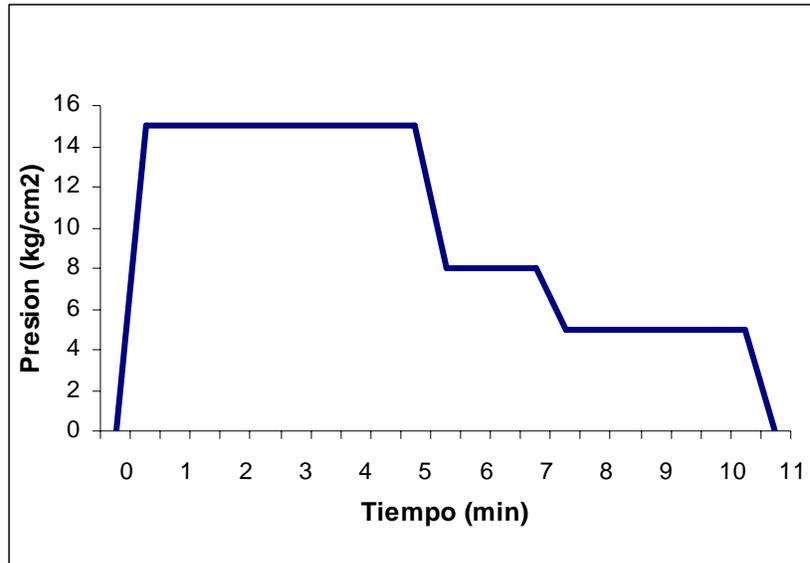


Figura 1. Diagrama de prensado

En el gráfico de prensado se puede apreciar un valor máximo de  $15 \text{ kg/cm}^2$ , para luego descender gradualmente, evitando producir defectos en los tableros tales como soplado.

### 3.2.6 Climatizado

Se dejaron reposar todos los tableros apilados de tal forma de simular los procesos industriales, estos se encontraban a una temperatura ambiente.

### 3.2.7 Fabricación de probeta para ensayos

Las probetas se cortaron de acuerdo con el esquema presentado en la figura 2.

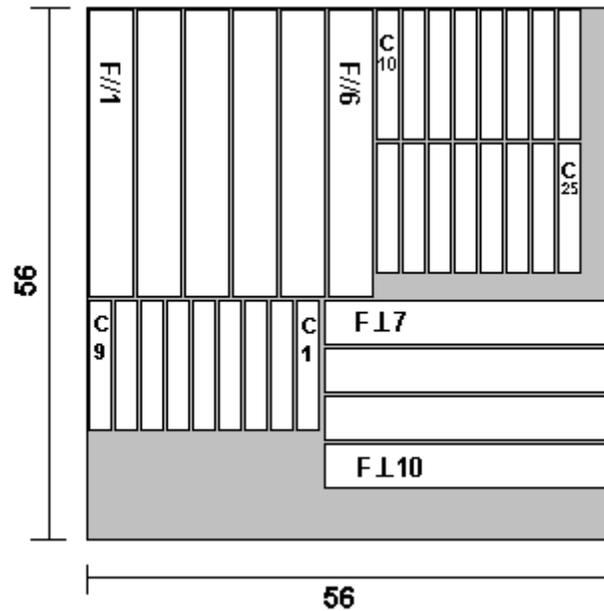


Figura 2. Diagrama de corte

Se identifican los tipos de probeta según el ensayo al que se destinaron.

- F = Probeta Flexión (MOR, MOE)
- C = Probeta Cizalle (Resistencia Adhesión)

### 3.2.8 Propiedades y normas

**Flexión.** Esta fue determinada en base a la norma europea EN 310 que dice sobre el procedimiento lo siguiente:

Se ajustó la distancia entre los ejes de los apoyos, el que fue de 20 veces el espesor nominal del tablero  $\pm 1$  mm, con un máximo de 1.000 mm y un mínimo de 100 mm. La distancia entre los ejes de los apoyos se redondeo al 0,5 mm más próximo.

La probeta se ubicó apoyada en los soportes y con su eje longitudinal perpendicular a los apoyos. La carga se aplicó en el centro de la probeta.

La velocidad de carga durante la realización del ensayo fue constante y se ajustó de tal forma que se alcance la carga máxima en  $60 \pm 30$  s. La deformación fue registrada por un programa computacional, el que a su vez entregó los valores de resistencia y elasticidad.

Los ensayos realizados sobre dos lotes de probetas que correspondieron a las dos direcciones del tablero, la longitudinal y la transversal. Dentro de cada lote, la mitad de los ensayos se realizaron sobre la cara superior de las probetas y la otra mitad sobre la cara inferior.

**Cizalle.** En cuanto a éste, se determinó en base a la norma europea EN 314-1 la que dice respecto al procedimiento de los pretratamiento lo siguiente:

- Se sumergió en agua durante 24 h a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C.
- Se sumergió en agua hirviendo durante 4 h; se secó en estufa con ventilación forzada durante 16 h a 20 h a una temperatura de  $60 \pm 3$  °C; a continuación se sumergió en agua hirviendo durante 4 h y finalmente enfriar en agua a  $20 \pm 3$  °C durante al menos 1 h para disminuir la temperatura de la probeta a 20°C.

Se utilizó solamente estos dos pretratamientos, dado que los tableros son clase 3, o sea, son tableros de contrachapado de exterior a la intemperie (EN 314-2).

En tanto para el procedimiento operatorio la norma EN 314-1 describe lo siguiente:

Con anterioridad al tratamiento en agua, se midió y se registró la longitud y la anchura de la superficie del esfuerzo cizalle con una precisión de 0,1 mm.

Las probetas para el ensayo de cizalle se colocaron en el centro de las útiles de agarre de tal forma que la carga se transmita desde la máquina de ensayo, a través de los extremos de la probeta de ensayo, a la superficie del cortante sin que produzca ninguna carga transversal. Solamente se permitieron los deslizamientos que se producen en la fase inicial de la carga. La carga a una velocidad constante de tal forma que la ruptura se produzca en  $30 \pm 10$  s.

La carga se determinara con una precisión de 1 N. El esfuerzo cizalle se calculó en newton por milímetro cuadrado.

Después del ensayo de cizalle, se determinó el fallo por madera de acuerdo con el apartado determinación del porcentaje del fallo por madera que se encuentra en la norma.

**Contenido de humedad.** Este se determinó a través del método de diferencia de pesada o secado en estufa. El cual consistió en obtener probetas de los diferentes tableros, los que fueron pesados obteniendo el peso húmedo (Ph). Las probetas fueron colocadas en una estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C, hasta alcanzar un peso constante el que se contempló como el peso anhidro o peso seco (Ps).

Para determinar el contenido de humedad de los tableros se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Ch (tablero)} = \frac{(P_H - P_S)}{P_S} \times 100 \quad [1]$$

**Densidad.** Para obtener la densidad del tablero, se tomaron las mismas probetas ya secas, se midieron en sus caras para determinar su volumen. Teniendo el peso anhidro y el volumen anhidro de la probeta se pudo obtener la densidad anhidra. La siguiente fórmula será utilizada para obtener la densidad anhidra:

$$\text{Densidad anhidra del tablero} = D_A = \frac{P_S}{V_S} \quad [2]$$

Los resultados de contenido de humedad y densidad fueron obtenidos para determinar la calidad de las propiedades físicas de los tableros.

#### 4. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio, los cuales se encuentran divididos por tratamiento. Para cada tratamiento, se entrega la resistencia al cizalle y el porcentaje de rotura en la madera. Además se graficó la evolución que presentó la dosificación del adhesivo.

Para analizar los efectos individuales y las interacciones de los factores en estudio, se entrega un análisis de varianza y se graficó los promedios de resistencia para cada factor.

##### 4.1 Tratamiento interior seco: Resultado al cizalle

Para evaluar el comportamiento del tablero con tratamiento seco se realizó comparaciones múltiples entre los valores, como lo ilustra el siguiente cuadro, conocidos los valores de resistencia para cada gramaje, a través de un sistema de comparaciones múltiples para un factor, se pudo determinar lo siguiente:

Cuadro 3. Comparaciones múltiples

Comparaciones Múltiples	Diferencia	Situación
175 – 180	0,42	Diferencia significativa
175 – 190	1,09	Diferencia significativa
175 – 195	0,44	Diferencia significativa
175 – 215	0,56	Diferencia significativa
180 – 190	0,67	Diferencia significativa
180 – 195	0,02	<b>No existe Diferencia significativa</b>
180 – 215	0,98	Diferencia significativa
190 – 195	0,65	Diferencia significativa
190 – 215	1,65	Diferencia significativa
195 – 215	1,00	Diferencia significativa

Diferencia mínima significativa = 0.238

A través de este análisis se concluyó que no existe diferencia significativa entre los valores de gramaje 180 y 195, en estos dos valores no hay diferencia de resistencia, y entre estos valores presentan la mayor resistencia al cizalle, para el resto de las comparaciones existe diferencia significativa entre los gramajes.

Todos los valores obtenidos del ensayo mecánico para la resistencia al cizalle cumplen con la exigencia de la norma EN 314 - 2, la cual establece como requisito un esfuerzo de cizalle mayor a  $1 \text{ N/mm}^2$ , cumpliendo de esta forma todas las probetas, las cuales presentaron un esfuerzo al cizalle promedio de  $1.89 \text{ N/mm}^2$ .

La figura N°3 presenta la distribución de resistencias que presentaron los diferentes gramajes de los tableros con tratamiento interior seco.

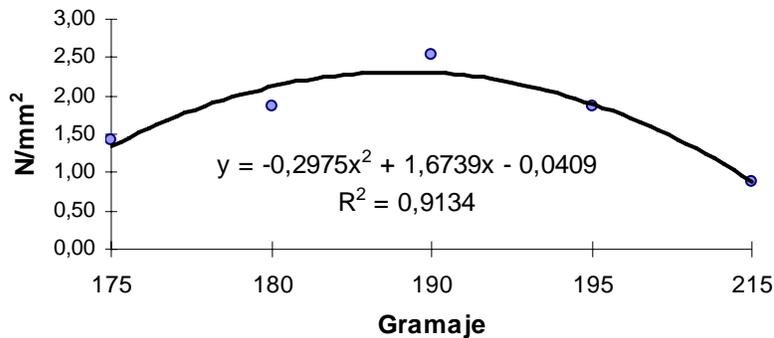


Figura 3. Resistencia al cizalle para tableros de uso interior

Como se puede apreciar en la figura N° 3 la mayor al cizalle se presenta en el valor de 190 g/m<sup>2</sup>, y existe una disminución en los valores 175 y 215 que constituyen los gramajes mínimos y máximos respectivamente. Esta tendencia se generó, debido a que los factores de prensado (tiempo, temperatura y presión) utilizados en el proyecto fueron los óptimos, recomendado por el fabricante para el gramaje de 190. Entonces se puede concluir que para el punto mínimo se produjo un excesivo curado, en tanto el valor máximo de gramaje el adhesivo no tuvo las condiciones y tiempo necesario para fraguar.

#### 4.2 Tratamiento exterior a la intemperie: Resultados de resistencias al cizalle

Se determinó a través del método anterior, evaluar los tableros con tratamiento exterior a la intemperie.

Cuadro 4. Comparaciones múltiples

Comparaciones Múltiples	Diferencia	Situación
175 – 180	0,653	Diferencia significativa
175 – 190	1,037	Diferencia significativa
175 – 195	0,906	Diferencia significativa
175 – 215	0,035	<b>No existe diferencia significativa</b>
180 – 190	0,384	Diferencia significativa
180 – 195	0,4183	Diferencia significativa
180 – 215	0,618	Diferencia significativa
190 – 195	0,131	<b>No existe diferencia significativa</b>
190 – 215	1,002	Diferencia significativa
195 – 215	0,871	Diferencia significativa

Diferencia mínima significativa = 0.351

A través de los análisis, se determinó que existen diferencias significativas entre los valores de resistencia mecánica al cizalle, esto se demuestra a través del siguiente grafico.

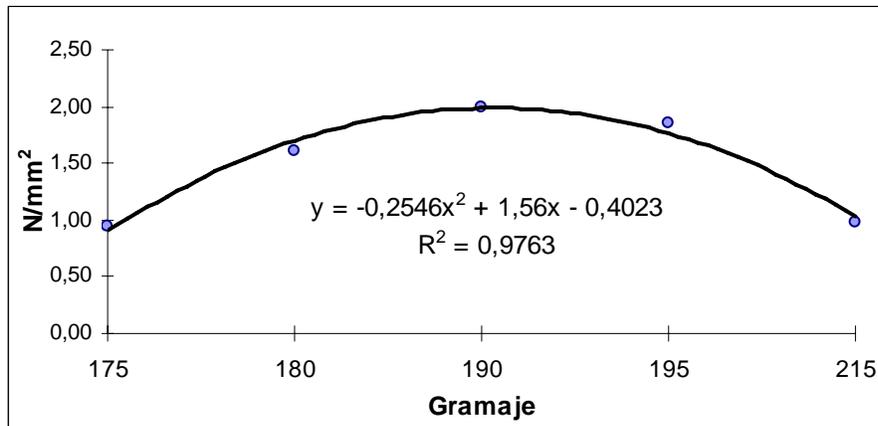


Figura 4. Resistencia al cizalle para tableros de uso exterior

En la figura N° 4 se aprecia una tendencia similar a la presentada en la figura N° 3, donde el valor máximo de resistencia se logra con el gramaje de 190 g/m<sup>2</sup> esto se explica de igual forma que los tratamientos para los tablero de uso interior, en donde los factores de prensado que se utilizaron fueron de igual forma para todos los gramajes.

Los valores de resistencia al cizalle aumentaron para los tableros con tratamientos de uso exterior con respecto a los tratamiento de uso interior seco, además todos las probetas de los tableros cumplieron con la norma EN 314 – 2 al igual que los tableros con tratamiento de uso interior.

### 4.3 Resultados de resistencia a la Flexión paralela y perpendicular a la fibra

Los tableros sometidos a la resistencia mecánica de flexión paralela a las fibras tuvieron el comportamiento que se presenta en la figura 5.

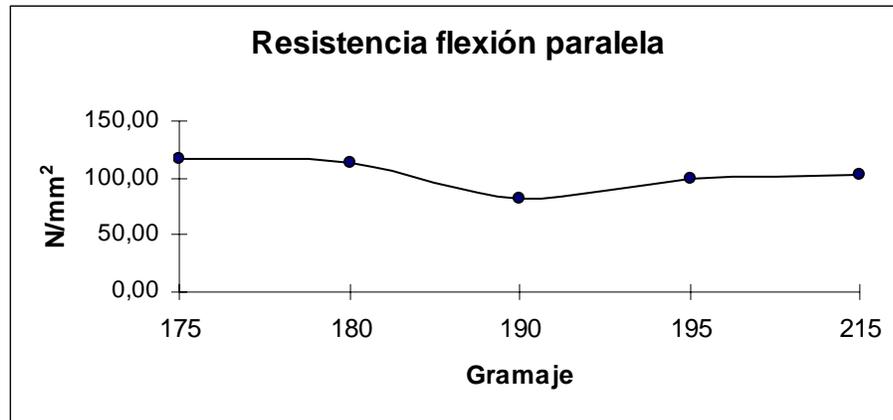


Figura 5. Resistencia a la flexión paralela a las fibras

Como se puede apreciar en la figura N° 5 no existe una influencia clara de la cantidad de adhesivo sobre la resistencia a la flexión paralela a las fibras.

Todos los resultados muestran una resistencia superior a la exigencia establecida por la norma DIN 68705, la cual es de 40 N/mm<sup>2</sup>.

Para los tableros sometidos a flexión perpendicular a las fibras se determinó la curva de la figura 6.

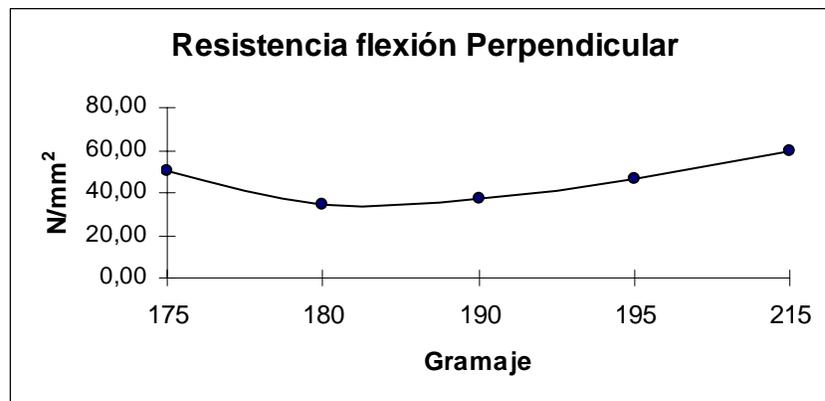


Figura 6. Resistencia a la flexión perpendicular a las fibras

Como se puede observar las probetas sometidas a flexión perpendicular a las fibras presentan un comportamiento similar a las probetas de flexión paralela, en donde no se observa un efecto del gramaje sobre las resistencias.

## 5. CONCLUSIONES

En la resistencia al cizalle de los tableros de contrachapado, la variable gramaje afecta la resistencia de las uniones, siendo este factor significativo para las dosificaciones de 190 y 195 g/m<sup>2</sup> en las cuales se presentó una tendencia que las condiciones de prensado fueron iguales para todos los gramajes, utilizando especificaciones del productor de adhesivo para los gramajes antes dichos. Esto contrasta con la disminución significativa que sufrió los valores de 175 y 215 g/m<sup>2</sup>, en las cuales se observó un excesivo fraguado del adhesivo para la dosificación de 175 g/m<sup>2</sup> y un pre - fraguado para la dosificación de 215 g/m<sup>2</sup>.

Con los datos obtenidos en el desarrollo del estudio se determinó que el gramaje no posee mayor incidencia en la resistencia a la flexión. Cabe suponer que la calidad de las laminas puede ser un factor de mayor importancia.

Todas las probetas que fueron ensayadas superaron satisfactoriamente las exigencias de la norma aplicadas en el estudio, tanto para la resistencia al cizalle como la resistencia a la flexión.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Barrueto P, H 1987. *Encolado fenólico en contrachapados de Laurelia philippiana looser y aextoxicon punctatum R, et Pav. Efecto de la viscosidad de la mezcla adhesiva y cantidad de resina sólida esparcida*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 50 p
- De Bruyne, N. 1957. *Adherencia y adhesivos*. México. DF, Aguilar. 621 p.
- FAO. 1968. *Tableros Contrachapados y otros paneles a base de Madera*. Roma, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 250 p.
- Gupta, R. C.; V. Sehgal 1979. *Effect of viscosity and molecular weight of lignin-phenol-formaldehyde resin on the glue adhesion of plywood*. *Holzforschung und Holzverwertung* 31 (1): 7 – 9 .
- Hermosilla D, M 1998. *Diversificación del aprovechamiento de plantaciones de eucalyptus globulus y eucalyptus nitens en su utilización en la industria*. <http://www.conicyt.cl/bases/fondef/PROYECTO/98/I/D98I1018.HTML> (Abril 19, 2003).
- Hoekstra, J.; C. P. Fritzius 1957. *Reología de los adhesivos*. Madrid , Editorial Aguilar. 325 p.
- Kollmann, F 1968. *Principles of wood science and technology*. Heidelberg: springer – verlag.
- Lorraine P, S 2000. *La revolución del contrachapado*. *Revista Bit*. 22 (1) : 50 – 53 .
- Perez, V. 1979. *Adhesivos*. Capítulo 4. *Manual de Madera laminada*. Santiago, Chile. Instituto Forestal. pp. 56 – 74.
- Pizzi, A. 1983. *Wood Adhesives and technology*. New York, Marcel Dekker Inc. 364 p.
- Poblete, H. 1978. *Uniones de maderas con adhesivos*, Valdivia, Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 43 p (Publicación Técnica, 1).
- Quappe M, J 1986. *Debobinado y encolado fenólico de Sequoia sempervirens (D. Don) ENL*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 43 p

## **ANEXOS**

**Anexo 1**

**Abstract**

## ABSTRACT

Physicist studied the effect of the dosings adhesives in the properties - mechanics of the manufactured of eucalyptuses nitens. With that objective test were made, in the Forest Products Technology of the Austral University of Chile, with prepared test specimens of way so that the influential variables in the resistances of the were union controlled to handle as the only variable the quantity of adhesive in every sheet that shapes the board.

The study was realized for weight of 175, 180, 190, 195 and 215 g/m<sup>2</sup> which were obtained applying adhesive to the sheets of wood, across glued manual.

Since results of the analyses were increases of the resistances to the cizalle for the ranges of weight of 190 and 195 g/m<sup>2</sup>, Happening a significant reduction of the resistance to the shears for the values of 175 and 215 g/m<sup>2</sup>.

The tried test specimens surpassed the established norms, as much for the resistance to it shears and flexion.

In the test of flexion weight effect on mechanical property.

Keywords: shear, flexion, glued

**Anexo 2**  
**Valores por probeta**

**CIZALLE (24 HORAS AGUA FRIA)****Esparcido: 63 / gramaje 175****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	99,50	95	1,561	Si
2	90,50	90	1,420	Si
3	101,50	95	1,593	Si
4	114,00	100	1,789	Si
5	119,50	100	1,875	Si
6	98,50	95	1,546	Si
7	95,50	100	1,498	Si
8	113,50	75	1,781	Si
9	98,50	90	1,546	Si
10	101,50	60	1,593	Si
11	94,00	50	1,475	Si
12	95,00	20	1,491	Si

**Esparcido: 65 / gramaje 180****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	83,50	50	1,310	Si
2	76,00	60	1,192	Si
3	72,50	60	1,138	Si
4	79,50	70	1,247	Si
5	87,50	50	1,373	Si
6	83,50	40	1,310	Si
7	91,00	40	1,428	Si
8	90,50	70	1,420	Si
9	104,00	50	1,632	Si
10	160,00	70	2,511	Si
11	156,00	85	2,448	Si
12	155,50	85	2,440	Si

**Esparcido: 68 / gramaje 190****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	196,50	5	3,083	Si
2	196,50	95	3,083	Si
3	201,50	90	3,162	Si
4	194,00	95	3,044	Si
5	188,00	100	2,950	Si
6	163,00	100	2,558	Si
7	145,50	95	2,283	Si
8	146,00	100	2,291	Si
9	153,50	95	2,409	Si
10	86,00	75	1,349	Si
11	88,00	75	1,381	Si
12	99,50	85	1,561	Si

**Esparcido: 70 / gramaje 195****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	121,00	90	1,899	Si
2	145,50	95	2,283	Si
3	153,00	85	2,401	Si
4	137,00	95	2,150	Si
5	170,50	70	2,675	Si
6	167,50	60	2,628	Si
7	153,50	70	2,409	Si
8	162,50	75	2,550	Si
9	168,00	85	2,636	Si
10	127,50	70	2,001	Si
11	119,50	75	1,875	Si
12	92,50	60	1,451	Si

**Esparcido: 78 / gramaje 215****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	88,50	75	1,389	Si
2	88,50	80	1,389	Si
3	93,50	80	1,467	Si
4	82,50	90	1,294	Si
5	76,50	95	1,200	Si
6	76,00	90	1,192	Si
7	79,50	90	1,247	Si
8	83,50	90	1,310	Si
9	82,50	95	1,294	Si
10	145,50	75	2,283	Si
11	157,00	75	2,463	Si
12	137,00	75	2,150	Si

**Esparcido: 63 / gramaje 175****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	130,00	30	2,040	Si
2	97,50	40	1,530	Si
3	90,50	50	1,420	Si
4	85,50	50	1,342	Si
5	82,00	100	1,287	Si
6	85,50	90	1,342	Si
7	88,50	100	1,389	Si
8	85,00	100	1,334	Si
9	83,00	100	1,302	Si
10	86,50	100	1,357	Si
11	88,00	95	1,381	Si
12	93,00	100	1,459	Si

**Esparcido: 65 / gramaje 180****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	87,50	15	1,373	Si
2	133,50	10	2,095	Si
3	126,50	20	1,985	Si
4	139,00	20	2,181	Si
5	139,50	30	2,189	Si
6	119,50	20	1,875	Si
7	118,00	40	1,851	Si
8	93,00	50	1,459	Si
9	106,00	50	1,663	Si
10	113,00	50	1,773	Si
11	119,50	30	1,875	Si
12	121,00	20	1,899	Si

**Esparcido: 68 / gramaje 190****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	138,50	90	2,173	Si
2	166,00	95	2,605	Si
3	145,00	90	2,275	Si
4	157,00	40	2,463	Si
5	143,50	75	2,252	Si
6	150,50	75	2,361	Si
7	138,50	90	2,173	Si
8	169,00	85	2,652	Si
9	181,50	70	2,848	Si
10	175,00	70	2,746	Si
11	198,50	85	3,115	Si
12	166,50	75	2,612	Si

**Esparcido: 70 / gramaje 195****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	96,50	90	1,514	Si
2	85,00	95	1,334	Si
3	79,50	90	1,247	Si
4	83,00	75	1,302	Si
5	122,50	85	1,922	Si
6	138,00	85	2,165	Si
7	125,00	80	1,961	Si
8	117,50	85	1,844	Si
9	121,00	85	1,899	Si
10	137,00	85	2,150	Si
11	140,50	85	2,205	Si
12	183,50	75	2,879	Si

**Esparcido: 78 / gramaje 215****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	53,00	10	0,832	Si
2	54,00	10	0,847	Si
3	66,50	15	1,043	Si
4	52,50	5	0,824	Si
5	52,50	40	0,824	Si
6	50,50	30	0,792	Si
7	50,00	20	0,785	Si
8	56,50	50	0,887	Si
9	68,50	20	1,075	Si
10	54,00	30	0,847	Si
11	55,50	30	0,871	Si
12	51,00	30	0,800	Si

## CIZALLE (24 HORAS AGUA CALIENTE)

Esparcido: 63 / gramaje 175

L1

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	57,00	80	0,894	Si
2	58,50	70	0,918	Si
3	70,00	50	1,098	Si
4	61,50	40	0,965	Si
5	56,50	50	0,887	Si
6	62,50	50	0,981	Si
7	60,50	60	0,949	Si
8	49,50	50	0,777	Si
9	58,00	50	0,910	Si
10	68,00	75	1,067	Si
11	70,50	75	1,106	Si
12	54,50	85	0,855	Si

Esparcido: 65 / gramaje 180

L1

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	146,00	80	2,291	Si
2	137,00	50	2,150	Si
3	111,50	75	1,750	Si
4	140,00	80	2,197	Si
5	92,00	70	1,444	Si
6	126,00	60	1,977	Si
7	51,50	30	0,808	No
8	52,00	90	0,816	Si
9	50,50	90	0,792	Si
10	113,00	70	1,773	Si
11	118,50	85	1,859	Si
12	88,50	80	1,389	Si

**Esparcido: 68 / gramaje 190****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	98,00	50	1,538	Si
2	122,00	30	1,914	Si
3	131,50	60	2,063	Si
4	125,00	85	1,961	Si
5	140,50	70	2,205	Si
6	163,50	70	2,565	Si
7	122,50	90	1,922	Si
8	132,50	95	2,079	Si
9	123,00	90	1,930	Si
10	131,50	40	2,063	Si
11	121,00	50	1,899	Si
12	109,50	40	1,718	Si

**Esparcido: 70 / gramaje 195****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	119,00	70	1,867	Si
2	150,50	95	2,361	Si
3	119,00	75	1,867	Si
4	155,00	95	2,432	Si
5	153,00	90	2,401	Si
6	148,00	95	2,322	Si
7	142,50	90	2,236	Si
8	139,00	80	2,181	Si
9	140,00	70	2,197	Si
10	53,50	50	0,839	Si
11	52,50	60	0,824	Si
12	48,50	70	0,761	Si

**Esparcido: 78 / gramaje 215****L1**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	53,50	30	0,839	No
2	53,00	30	0,832	No
3	61,50	20	0,965	No
4	54,50	15	0,855	No
5	43,00	10	0,675	No
6	47,50	10	0,745	No
7	48,00	50	0,753	Si
8	55,00	30	0,863	No
9	50,00	10	0,785	No
10	86,50	100	1,357	Si
11	99,00	100	1,553	Si
12	102,50	100	1,608	Si

**Esparcido: 63 / gramaje 175****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	90,50	70	1,420	Si
2	93,50	70	1,467	Si
3	105,50	80	1,655	Si
4	91,00	90	1,428	Si
5	90,50	100	1,420	Si
6	111,50	100	1,750	Si
7	108,00	100	1,695	Si
8	111,00	100	1,742	Si
9	91,00	100	1,428	Si
10	108,00	100	1,695	Si
11	95,00	100	1,491	Si
12	95,50	100	1,498	Si

**Esparcido: 65 / gramaje 180****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	90,50	75	1,420	Si
2	95,50	85	1,498	Si
3	116,50	100	1,828	Si
4	88,50	75	1,389	Si
5	97,50	60	1,530	Si
6	90,50	85	1,420	Si
7	118,00	70	1,851	Si
8	97,50	90	1,530	Si
9	98,50	75	1,546	Si
10	116,50	75	1,828	Si
11	104,00	90	1,632	Si
12	97,00	100	1,522	Si

**Esparcido: 68 / gramaje 190****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	104,50	100	1,640	Si
2	128,00	75	2,008	Si
3	108,50	85	1,702	Si
4	107,50	75	1,687	Si
5	106,50	60	1,671	Si
6	105,50	10	1,655	Si
7	105,50	20	1,655	Si
8	120,50	20	1,891	Si
9	90,50	15	1,420	Si
10	90,50	15	1,420	Si
11	105,50	20	1,655	Si
12	101,50	40	1,593	Si

**Esparcido: 70 / gramaje 195****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	58,50	0	0,918	No
2	130,50	10	2,048	No
3	65,50	0	1,028	Si
4	58,50	0	0,918	No
5	115,00	0	1,804	No
6	114,00	20	1,789	Si
7	112,50	20	1,765	Si
8	131,50	10	2,063	Si
9	115,50	20	1,812	Si
10	125,00	20	1,961	Si
11	105,50	15	1,655	Si
12	119,50	30	1,875	Si

**Esparcido: 78 / gramaje 215****L2**

PROBETA Nº	Q kg	Adherencia %	Mpa	Cumple Norma
1	143,00	95	2,244	Si
2	173,50	60	2,722	Si
3	155,50	20	2,440	Si
4	75,50	20	1,185	Si
5	74,00	20	1,161	Si
6	75,50	90	1,185	Si
7	74,00	80	1,161	Si
8	71,50	50	1,122	Si
9	80,50	30	1,263	Si
10	71,00	60	1,114	Si
11	67,50	70	1,059	Si
12	67,50	70	1,059	Si

## Ensayos flexión Perpendicular

175

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	98	0,33	46	5467,95	48,05
2	96	0,35	43	4819,27	47,07
3	120	0,46	65	5542,89	58,84
4	99	0,39	52	5230,21	48,54

180

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	76	0,39	47	4727,31	37,27
2	67	0,32	41	5025,91	32,85
3	69	0,25	31	4864,10	33,83
4	70	0,28	28	3922,66	34,32

190

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	82	0,37	44	4664,78	40,21
2	84	0,36	42	4576,44	41,19
3	66	0,37	32	3392,57	32,36
4	69	0,33	30	3566,05	33,83

195

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	77	0,51	74	5691,70	37,76
2	80	0,47	59	4924,19	39,23
3	115	0,60	70	4576,44	56,39
4	105	0,47	60	5007,65	51,48

215

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	110	0,46	55	4690,14	53,94
2	144	0,30	35	4576,44	70,61
3	116	0,47	63	5258,03	56,88
4	112	0,39	53	5330,79	54,92

## Ensayos flexión Paralela

175

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	242	0,26	125	18858,94	118,66
2	232	0,29	128	17313,81	113,76
3	195	0,25	112	17573,52	95,61
4	278	0,25	126	19770,21	136,31
5	247	0,22	104	18543,48	121,11
6	244	0,29	124	16772,75	119,64

180

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	229	0,28	120	16811,40	112,29
2	234	0,30	137	17913,48	114,74
3	267	0,28	144	20173,68	130,92
4	205	0,29	158	21371,73	100,52
5	240	0,29	161	21777,53	117,68
6	203	0,25	122	19142,58	99,54

190

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	187	0,26	100	15087,15	91,69
2	169	0,37	86	9117,53	82,87
3	140	0,23	68	11597,43	68,65
4	144	0,28	80	11207,60	70,61
5	185	0,28	105	14709,98	90,71
6	178	0,30	98	12814,02	87,28

195

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	226	0,25	114	17887,33	110,82
2	192	0,28	102	14289,69	94,14
3	190	0,23	107	18248,90	93,16
4	189	0,21	100	18679,33	92,67
5	217	0,25	102	16004,45	106,40
6	206	0,26	110	16595,87	101,01

215

PROBETA Nº	Q kg	dl cm	P kg	MOE Mpa	MOR Mpa
1	228	0,26	137	20669,40	111,80
2	245	0,23	128	21830,46	120,13
3	236	0,21	110	20547,27	115,72
4	147	0,22	83	14799,13	72,08
5	205	0,23	110	18760,55	100,52
6	208	0,26	118	17802,84	101,99

## **Anexo 3**

### **Resultados estadísticos**

## Análisis de varianza de un factor

### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
175	12	11,407	0,951	0,010
180	12	19,245	1,604	0,305
190	12	23,858	1,988	0,063
195	12	22,289	1,857	0,433
215	12	11,831	0,986	0,107

### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Prom.de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	11,284	4	2,821	15,349	1,726E-08	2,540
Dentro de los grupos	10,108	55	0,184			
Total	21,391	59				

DMS 0,351

Comparaciones Múltiples	Diferencia	Situación
175 - 180	0,653	Diferencia significativa
175 - 190	1,037	Diferencia significativa
175 - 195	0,906	Diferencia significativa
175 - 215	0,035	<b>No existe diferencia significativa</b>
180 - 190	0,384	Diferencia significativa
180 - 195	0,4183	Diferencia significativa
180 - 215	0,618	Diferencia significativa
190 - 195	0,131	<b>No existe diferencia significativa</b>
190 - 215	1,002	Diferencia significativa
195 - 215	0,871	Diferencia significativa

## Análisis de varianza de un factor

### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
175	12	17,181	1,432	0,041
180	12	22,218	1,851	0,066
190	12	30,275	2,523	0,086
195	12	22,422	1,868	0,221
215	12	10,426	0,869	0,009

### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Prom. de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	17,891	4	4,473	52,825	3,315E-18	2,540
Dentro de los grupos	4,657	55	0,085			
Total	22,547	59				

DMS 0,238

Comparaciones Múltiples	Diferencia	Situación
175 - 180	0,42	Diferencia significativa
175 - 190	1,09	Diferencia significativa
175 - 195	0,44	Diferencia significativa
175 - 215	0,56	Diferencia significativa
180 - 190	0,67	Diferencia significativa
180 - 195	0,02	<b>No existe diferencia significativa</b>
180 - 215	0,98	Diferencia significativa
190 - 195	0,65	Diferencia significativa
190 - 215	1,65	Diferencia significativa
195 - 215	1,00	Diferencia significativa