

## CAPITULO V

# ENCOLABILIDAD DE LA MADERA

**Hernán Poblete Wilson \***  
hpoblete@uach.cl

**Hector Cuevas Doering \*\***  
hcuevas@uach.cl

### 5.1 ANTECEDENTES GENERALES

Teniendo presente las especiales condiciones de crecimiento de *Eucalyptus nitens* y la importancia que puede tener para el desarrollo de las plantaciones con fines industriales, es importante verificar el comportamiento de esta especie en productos como tableros enlistonados, fabricados hasta hoy con otras maderas.

Los tableros elaborados de piezas de madera, enlistonados, se caracterizan por no tener ningún tipo de defectos (grietas, nudos, bolsas de resina, manchas, etc.) y se crean a partir de piezas pequeñas y de diferentes tamaños para su posterior ensamble longitudinal a través de una técnica conocida como unión endentada ("finger joint"). Con este método se fabrican listones de diferentes tamaños y la unión de estos últimos entre sus cantos o caras por medio de un adhesivo genera el tablero enlistonado.

Con esta técnica se busca recuperar y valorizar la madera de dimensiones menores y la revalorización de piezas de tamaño comercial de baja calidad.

Actualmente, en Chile se exportan productos que tienen como base este tipo de uniones ya sea en tableros o en muebles de distintas características.

Considerando las exigencias de calidad que imponen los países importadores y la escasez de antecedentes sobre *Eucalyptus nitens* en este rubro, se hace imprescindible conocer la calidad de las uniones en tableros enlistonados de *Eucalyptus nitens* crecidos en Chile. Para cumplir con lo anterior se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar posibles dificultades en la fabricación de tableros enlistonados con *Eucalyptus nitens*.
- Determinar la resistencia a la flexión estática y la resistencia a la tracción en uniones endentadas.
- Determinar la resistencia al esfuerzo de cizalle para uniones laminares entre listones.

Las propiedades mecánicas de las uniones en los tableros enlistonados son el factor más importante en el control de calidad de estos productos y permiten asegurar que los tableros se comportarán en forma eficiente ante las diferentes sollicitaciones de esfuerzos en su uso normal.

---

\* Ingeniero Forestal (1976) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1984) de Georg-August-Universität zu Göttingen (Alemania) *Especialidad:* Tableros y Adhesivos.

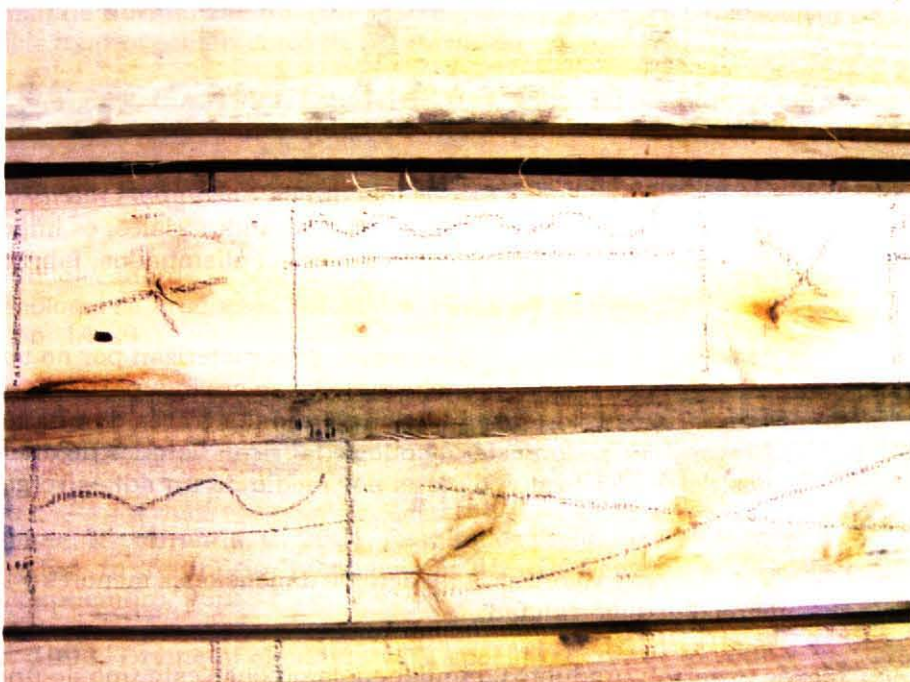
\*\* Constructor Civil (1971) Universidad Técnica del Estado (Chile) e Ingeniero Constructor (1999) Universidad Austral de Chile. *Especialidad:* Construcción en maderas y Uniones.

## 5.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Confección de los tableros

Se trabajó con muestras de madera aserrada obtenidas de trozas de 21 años de edad. La madera aserrada fue encastillada y sometida a un presecado en los laboratorios del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales (UACH), recinto cerrado con una temperatura promedio aproximada de 20°C y 65% de humedad relativa (HR), hasta alcanzar un contenido de humedad promedio de 20%.

Luego fue sometida a un secado artificial hasta un contenido de humedad final del 12%. Posteriormente se procedió a eliminar los defectos y aprovechar al máximo cada pieza para fabricar “blocks” de largo variable y ancho de 4 cm (Figura 53).

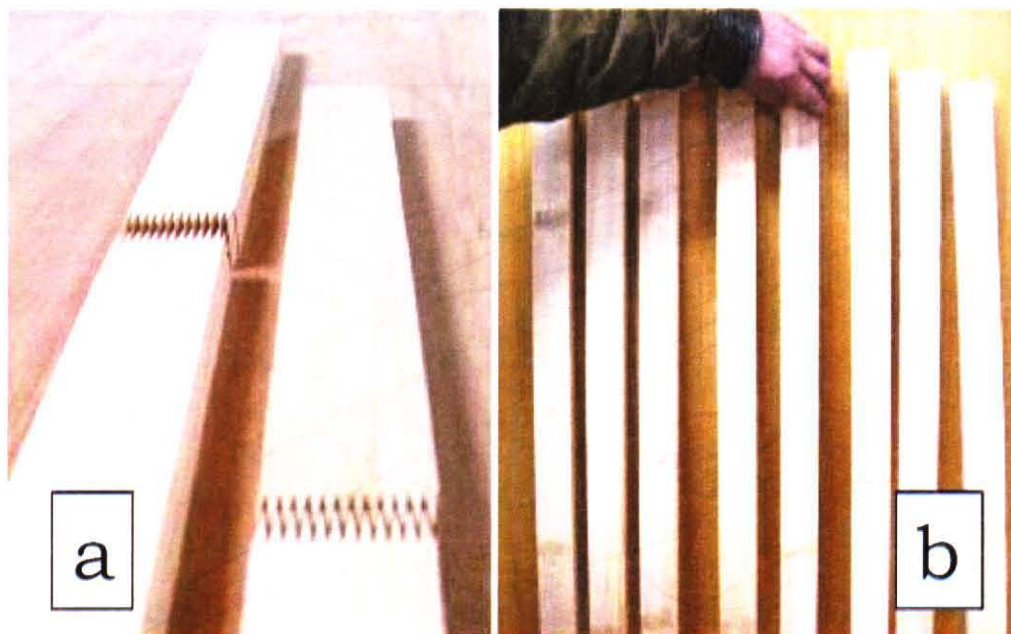


**FIGURA 53**  
**SELECCIÓN DE MADERA LIBRE DE DEFECTOS**

Estas piezas se ensamblaron con uniones dentadas en sus extremos (Figura 54), siendo encoladas con PVA (polivinil acetato) para productos no estructurales y de uso seco (interiores).

Las piezas se seleccionaron de acuerdo a un espesor mínimo de 30 mm para su posterior rebaje de cepillado, teniendo en cuenta que el espesor final del tablero fue de 20 mm. Luego se dimensionó a un largo de 120 cm y se canteó cada pieza.





**FIGURA 54**  
**ENSAMBLES CON FINGER Y LISTONES ENCOLADOS**

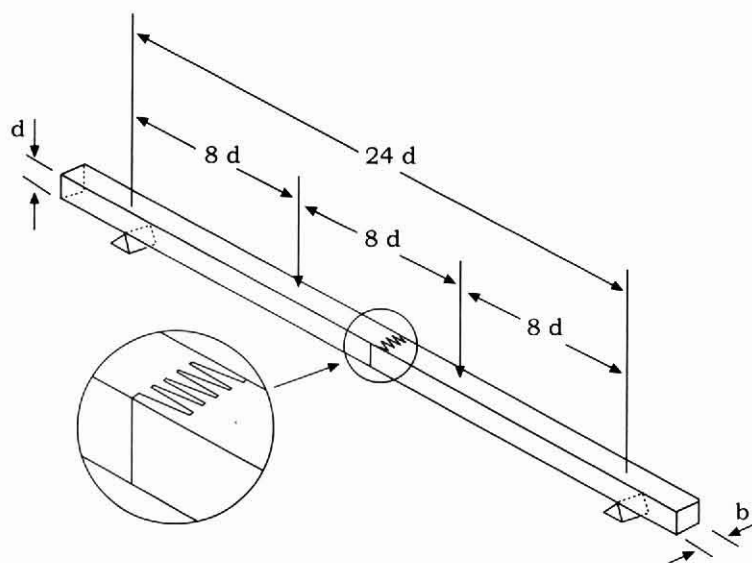
Con los listones se procedió a fabricar tableros, de los que se obtuvieron las probetas para los ensayos.

Para la fabricación de las probetas se ocupó la siguiente maquinaria perteneciente al Instituto de Tecnología de Productos Forestales, UACH;

- Para los cortes y dimensionado, una sierra circular LEUCO Top line Ø250 x 3.2/2.2 Z40 Hw max 7600 rpm.
- Para la unión dentada, una Tupí equipada con una fresa que genera un dentado de 11 mm de profundidad y una pendiente del flanco del diente de 2/10 (11,3°).
- Para el ensayo de flexión estática, tracción y cizalle se utilizó una máquina universal de ensayos MOHR+FEDERHAFF+LOSENHAUSEN.

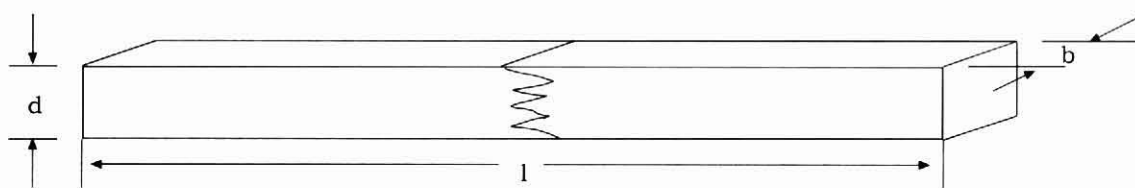
De acuerdo con las normas, los ensayos realizados fueron: Flexión y Tracción para uniones dentadas, Cizalle para las uniones laminares (cara y canto). Para evaluar los resultados se realizaron además los mismos ensayos en madera sin unión.

Las probetas especificadas por las normas ASTM D 5572 y ASTM D 5751, se muestran en las Figuras 55 y 56. Respetando las proporciones establecidas en la norma, se trabajó con las siguientes dimensiones para la probeta de flexión; altura (d) 20 mm, ancho (b) 30 mm y largo (l) 530 mm para una luz de ensayo de 480 mm. Para la probeta de ensayo de tracción las dimensiones fueron; largo (l) 254 mm, altura (d) 6 mm, y ancho (b) 20 mm.



d = altura  
b = ancho

**FIGURA 55**  
**PROBETA DE FLEXIÓN ESTÁTICA Y PUNTO DE APLICACIÓN DE LA CARGA SEGÚN**  
**NORMA ASTM D 5572**

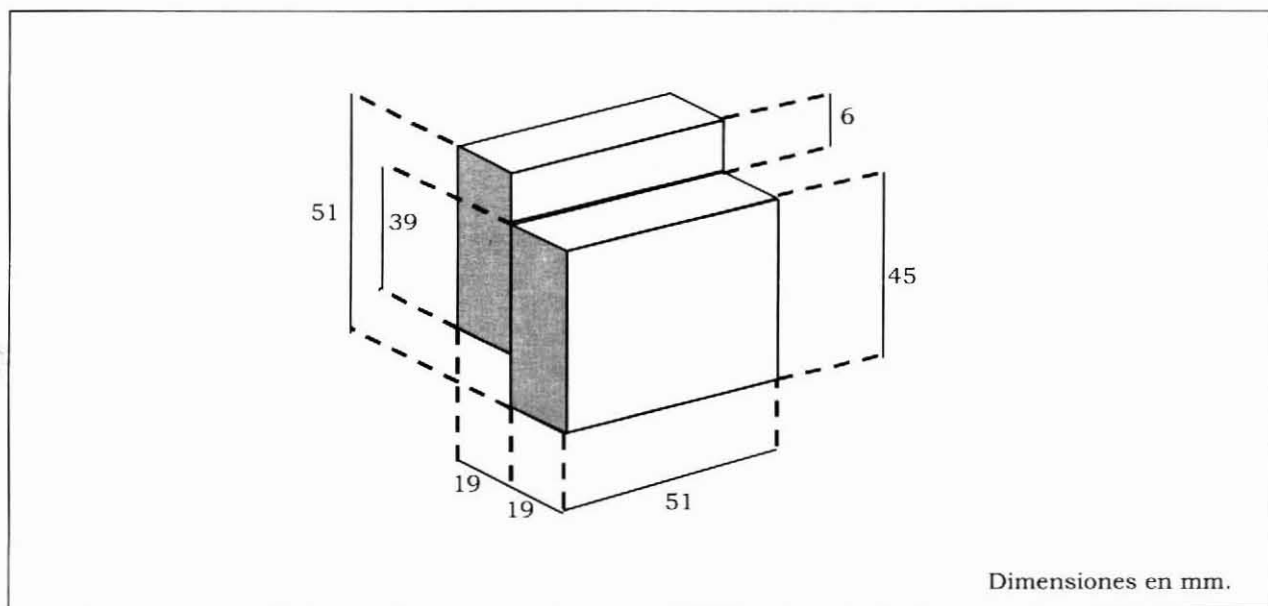


l = largo  
d = altura  
b = ancho

**FIGURA 56**  
**PROBETA DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D 5572**



Las dimensiones de la probeta requerida para el ensayo de cizalle se presentan en la Figura 57.



**FIGURA 57**  
**PROBETA DE CIZALLE SEGÚN LA NORMA ASTM D 5751**

#### Ensayos

Los ensayos se realizaron según las normas ASTM D 5572 para las uniones dentadas y ASTM D 5751 para las uniones laminares.

De acuerdo a lo anterior, los tratamientos aplicados a las uniones y el número de probetas por tratamiento fueron:

|                      |                                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Probeta de Flexión:  | Curado<br>Inmersión                                                      |
| Probeta de Tracción: | Curado<br>Inmersión<br>Elevación de temperatura<br>Temperatura – humedad |
| Probeta de Cizalle:  | Curado<br>Inmersión<br>Elevación de temperatura                          |

Para cada tratamiento se emplearon 20 probetas, es decir, para flexión 40, para tracción 80 y para cizalle 60 probetas. Adicionalmente se ensayaron probetas sin unión para cada tipo de esfuerzo bajo régimen de Curado.

Los tratamientos previstos por las normas citadas constan de los siguientes pasos:

**Curado.** Climatizado, previo al ensayo, por siete días en ambiente con  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  de temperatura y  $65\pm 5\%$  de humedad relativa del aire.

**Inmersión.** Tres ciclos de inmersión en agua con temperatura entre  $19$  y  $27^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 4 horas, seguido por un secado de 19 horas a una temperatura de  $41\pm 3^{\circ}\text{C}$  con circulación de aire.

Ensayo posterior al tercer ciclo luego de un enfriado a una temperatura de  $24\pm3^{\circ}\text{C}$ .

**Elevación de temperatura.** Para uniones endentadas se hizo un tratamiento en estufa con una temperatura de  $104\pm3^{\circ}\text{C}$  durante 6 horas, elevación rápida a  $110\pm3^{\circ}\text{C}$  durante un mínimo de 12 minutos y 22 minutos como máximo. Retiro individual de las probetas y ensayo antes de 30 segundos en ambiente con  $24\pm3^{\circ}\text{C}$ . Para uniones laminares se utilizó estufa a una temperatura de  $104\pm3^{\circ}\text{C}$  durante 6 horas, retiro individual de las probetas y ensayo inmediato.

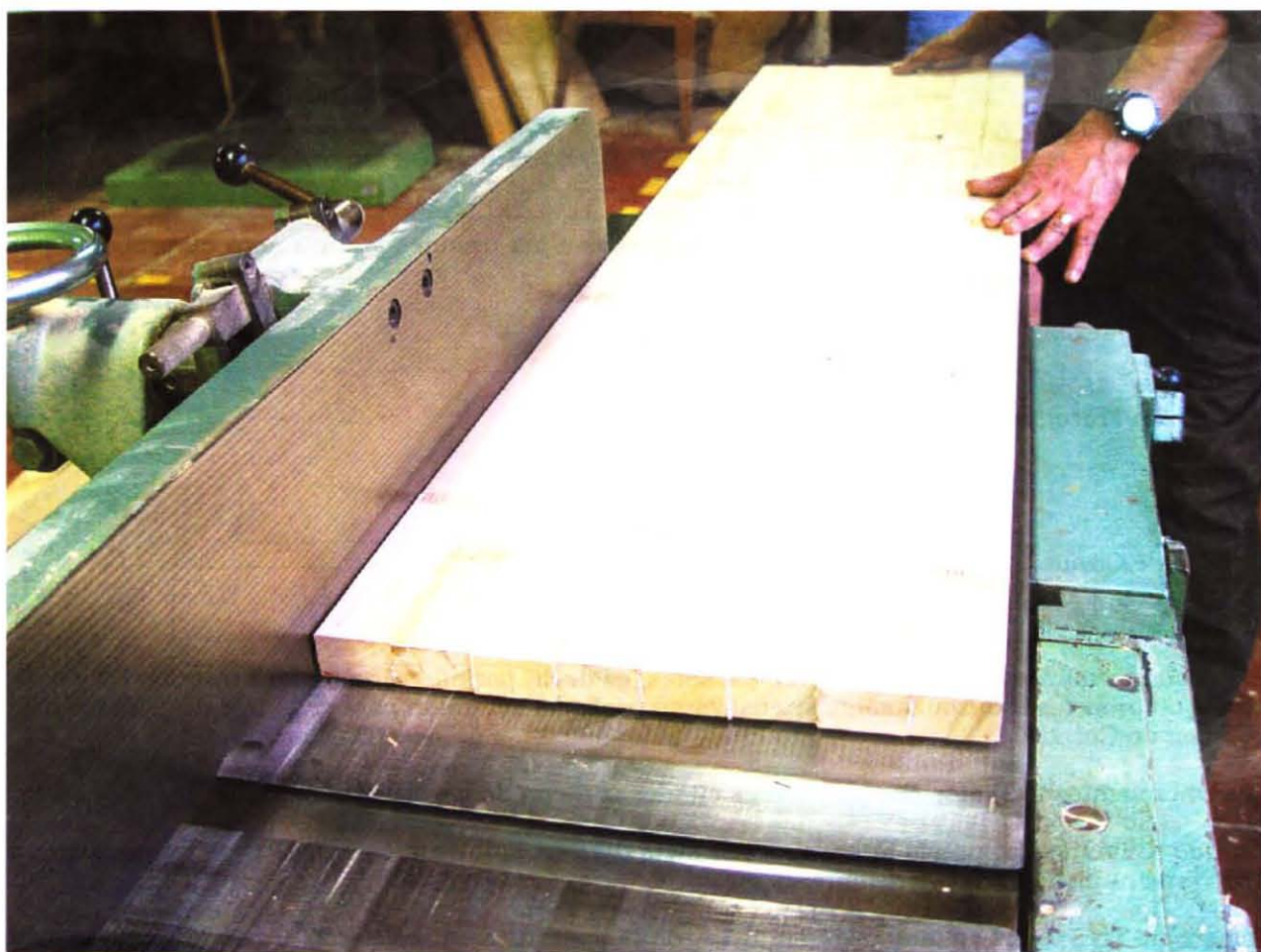
**Temperatura - Humedad.** Climatizado en ambiente con  $27\pm3^{\circ}\text{C}$  y  $80\pm5\%$  de humedad relativa del aire. Tratamiento final en estufa con una temperatura de  $65\pm1^{\circ}\text{C}$  durante 12 minutos como mínimo y 20 minutos como máximo. Retiro individual de las probetas y ensayo antes de 30 segundos.

### 5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Fabricación de los tableros

Durante el fresado para producir las uniones finger y el cepillado para unir listones se pudo observar que la madera de *Eucalyptus nitens* se deja trabajar con facilidad dando terminaciones de buena calidad.

En la Figura 58 se observa una porción de tablero durante el cepillado. El resultado de esta fase de la elaboración dio superficies lisas sin astilladuras ni levantamiento de fibras. La calidad de las superficies fue óptima, dando un tablero con un espesor calibrado, parejo, en toda la superficie.



**FIGURA 58**  
**TABLERO DURANTE EL PROCESO DE CEPILLADO**



En la Figura 59 se presentan los tableros terminados y un detalle de ellos.



**FIGURA 59**  
**TABLERO TERMINADO Y DETALLE DE LA SUPERFICIE**

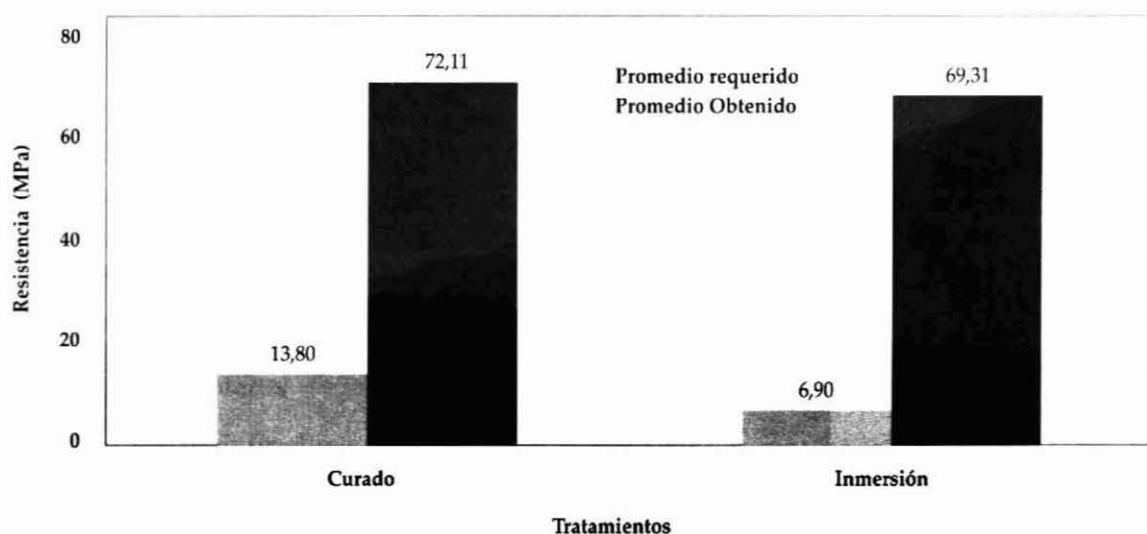
Un aspecto negativo de los tableros es la variedad de tonalidades que ofrece la especie.

Esta característica debería poder ser ajustada con una selección de procedencia genética y manejo adecuado en el bosque. En la situación actual, la mejor alternativa es la de usar anilinas para dar una tinción que haga el producto más homogéneo.

#### Propiedades de las uniones

*Uniones endentadas, "Finger".* Para evaluar la calidad de estas uniones se ensayaron la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción luego de provocar un envejecimiento acelerado con distintos tratamientos. En la Figura 60 se presentan los resultados de la resistencia a la flexión.

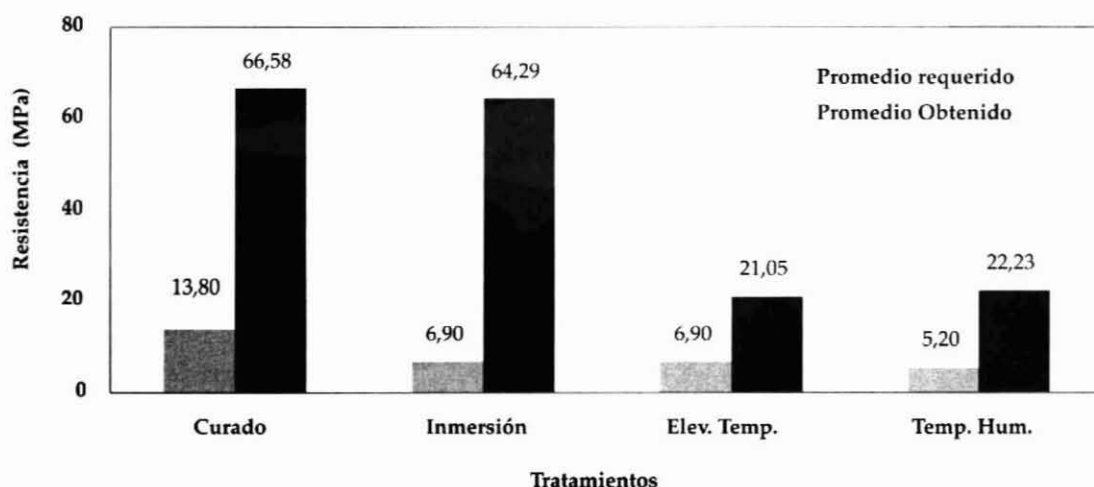




**FIGURA 60**  
**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN REQUERIDA Y OBTENIDA EN**  
**UNIONES FINGER CON *Eucalyptus nitens***

Se aprecia en la Figura 60 que la resistencia lograda con las uniones endentadas de *Eucalyptus nitens* superan ampliamente las exigencias de la norma ASTM.

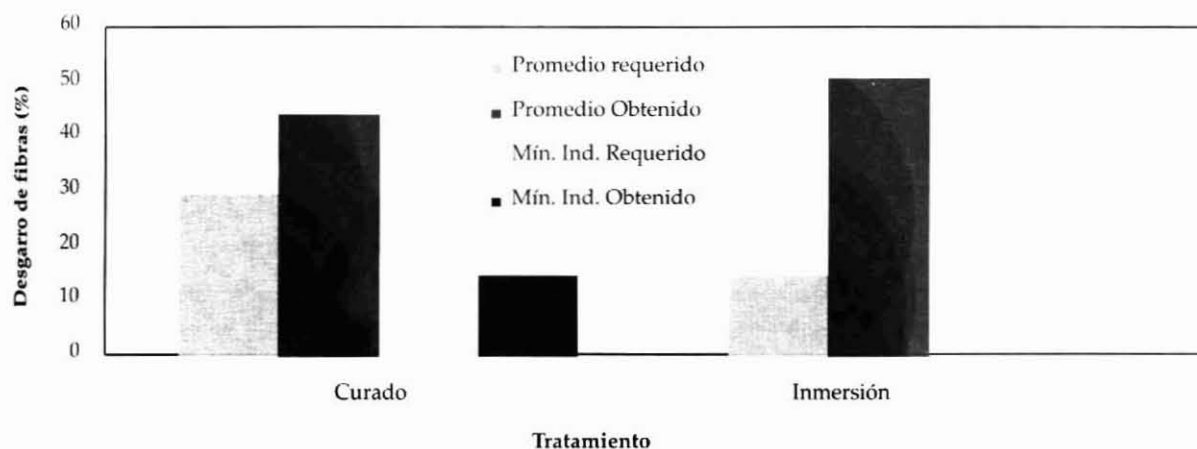
Al someter las mismas uniones a esfuerzos de tracción, se obtuvieron los resultados indicados en la Figura 61.



**FIGURA 61**  
**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN REQUERIDA Y OBTENIDA EN**  
**UNIONES FINGER CON *Eucalyptus nitens***

Nuevamente se aprecia que las uniones endentadas tienen resistencias que superan las exigencias de la norma.

En el caso de la resistencia a la tracción, la norma ASTM exige una adhesión, desgarro de fibras, mínimo para los tratamientos “Curado” e “Inmersión”. La evaluación de este parámetro se muestra en la Figura 62.



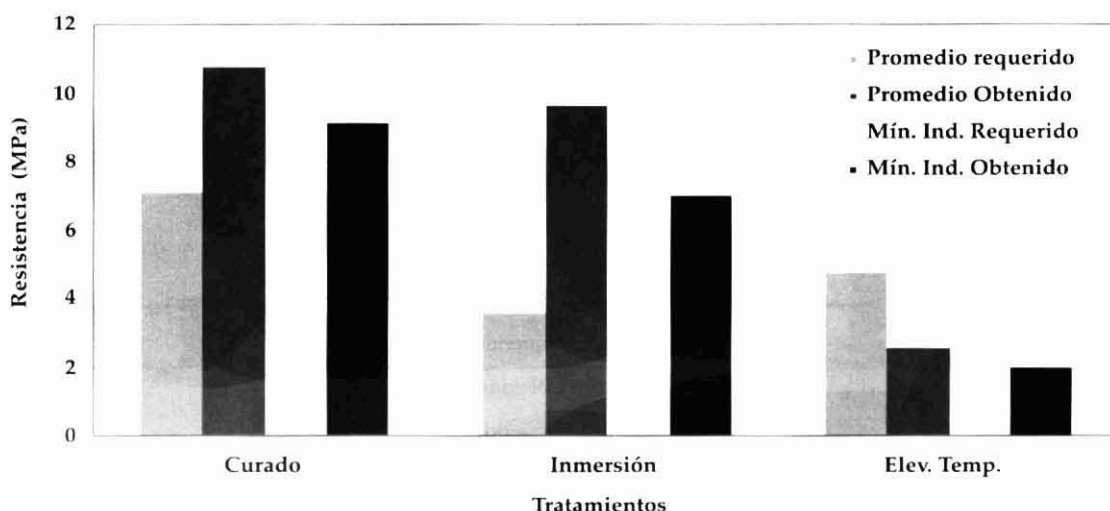
**FIGURA 62**  
**DESGARRO DE FIBRAS EN EL ENSAYO A LA TRACCIÓN DE**  
**UNIONES ENDENTADAS DE *Eucalyptus nitens***

Se observa que las uniones de *Eucalyptus nitens* cumplen con la norma, tanto en el promedio general como en el valor mínimo individual de una probeta. En el caso del tratamiento “Inmersión” la norma no tiene exigencia mínima a una probeta individual, por lo que no se presentan valores en el gráfico.

Los resultados obtenidos con las uniones endentadas tienen valores que son comparables a los mejores obtenidos con *Pinus radiata* en la industria chilena. En general se puede aseverar que la madera de *Eucalyptus nitens* no presenta problemas para formar este tipo de uniones.

*Uniones de canto.* En este caso se trata de un ensayo que prueba la resistencia del plano encolado de la unión a un esfuerzo al cizalle.

En la Figura 63 se presentan los promedios obtenidos por las uniones producidas con *Eucalyptus nitens* y los mínimos exigidos por la norma ASTM.



**FIGURA 63**  
**RESISTENCIA AL CIZALLE DE UNIONES DE CANTO DE**  
***Eucalyptus nitens* SEGÚN NORMA ASTM**

Los resultados obtenidos demuestran que las uniones producidas cumplen con holgura las exigencias de la norma en los tratamientos “Curado” e “Inmersión”.

En el tratamiento “Elevación de Temperatura” las uniones no logran cumplir las exigencias de ASTM.

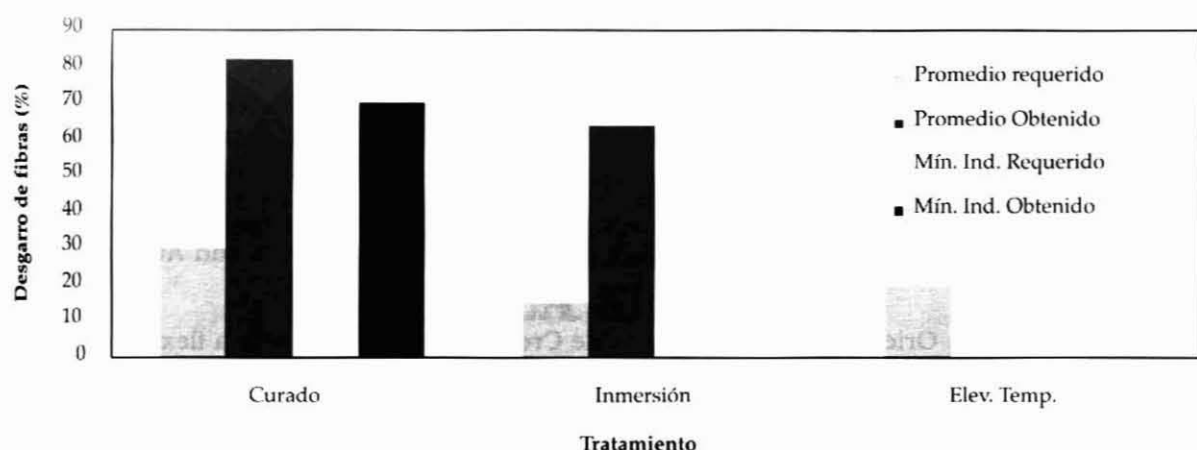
Cuando se analizan los valores de desgarro de fibras, Figura 64, se aprecia que los resultados muestran un comportamiento similar al de la resistencia al cizalle.

En desgarro las uniones producidas no dan un buen resultado luego del tratamiento en estufa a una temperatura de  $104 \pm 3^\circ\text{C}$  durante 6 horas.

Si se tiene presente que las uniones endentadas y los tratamientos “Curado” e “Inmersión” dieron excelentes resultados de resistencia y adhesión, puede concluirse que la falla en el tratamiento “Elevación de Temperatura” se debe a condiciones ajenas a las de la madera.

Para solucionar este problema es recomendable efectuar nuevos ensayos considerando la aplicación de una gama de adhesivos e incluir como variables la dosificación, los tiempos, la presión y la temperatura.





**FIGURA 64**  
**DESGARRO DE FIBRAS EN EL ENSAYO DE CIZALLE PARA**  
**UNIONES DE CANTO CON *Eucalyptus nitens***

#### 5.4 CONCLUSIONES

La elaboración de la madera para producir uniones “finger” y de canto no reviste problemas.

Las terminaciones de superficies son óptimas para la producción de enlistonados.

Las diferentes muestras de madera libre de defectos presentan una variabilidad en el color que debe ser mejorada.

Las propiedades mecánicas de las uniones endentadas superan todas las exigencias de la norma ASTM.

Las uniones de canto ensayadas al cizalle, según ASTM, cumplen con las exigencias en dos tratamientos y fallan en uno.

Considerando los buenos resultados obtenidos en las uniones, la falla en un tratamiento sólo puede ser atribuible a la falta de un ajuste en el método para producir la unión. Se recomienda realizar ensayos incluyendo variables como el adhesivo (tipo y cantidad) y las condiciones de fraguado (presión, temperatura, tiempos).

## 5.5 REFERENCIAS

**American Society for Testing and Materials. 1995a.** Standard Specification for Adhesives used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. Designation D 5572. pp. 1-14.

**American Society for Testing and Materials. 1995b.** Standard Specification for Adhesives used for Laminet Joints in Nonstructural Lumber Products. Designation D 5751. pp. 1-7.

**Castillo, M. 2003.** Estudio del efecto de la inclinación de la fibra en la resistencia a la tracción de uniones dentadas en pino radiata. Tesis Ingeniero en Maderas. Fac. de Cs. Forestales. Universidad Austral de Chile. 47p.

**Figuerola, L. 2003.** Inclinación de las fibras y resistencia a flexión en uniones dentadas, en *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ingeniero en Maderas. Fac. de Cs. Forestales. Universidad Austral de Chile 27p.

**Gallardo V., J.L. 1999.** Orientación de los anillos de Crecimiento y resistencia a flexión en uniones dentadas, en pino radiata. Tesis Ingeniero Forestal. Fac. de Cs. Forestales. Universidad Austral de Chile 37p.

**Karsulovic, J.; Leon. L. 1988.** Factores que intervienen en la resistencia mecánica en uniones Finger Joints. Chile Forestal. Santiago, Chile. 8p.

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

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

## CAPITULO VI

# TRABAJABILIDAD DE LA MADERA

Alfredo Aguilera León \*  
aguilera@uach.cl

### 6.1 ANTECEDENTES GENERALES

Una de las características más significativas de la madera es la posibilidad de ser elaborada con relativa facilidad. Sin embargo, el comportamiento varía considerablemente entre especies e incluso dentro de una misma especie, frente a iguales procesos de corte y terminación, tales como el cepillado, torneado, taladrado, lijado, etc., por lo cual se hace necesario conocer el comportamiento de la madera de una especie en particular frente a diversos procesos de corte y terminación para, de esta forma, obtener la información necesaria para alcanzar las características de calidad que el mercado requiere.

El objetivo de la investigación sobre Trabajabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens*, es:

Identificar las variables técnicas que aseguran una correcta transformación mecánica de la madera aserrada seca, con indicadores de aplicación industrial definidos por las normas internacionales (ASTM 1666) y medición del estado a través de rugosímetro, para los procesos de cepillado, lijado, moldurado, torneado, taladrado y escopleado en madera aserrada seca, seleccionada aleatoriamente de los árboles de 21 años.

### 6.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para el caso del cepillado, moldurado, torneado y taladrado se procesaron las muestras considerando como constantes la geometría de las herramientas, su diámetro y el número de cuchillos.

---

\*Ingeniero Forestal (1991) Universidad de Concepción, Magíster (1996) Université Henri Poincaré Nancy 1 (Francia) y Doctor en Ciencias de la Madera (2000) Université Henri Poincaré Nancy 1 (Francia). *Especialidad:* Transformación primaria y secundaria de la madera.



Se hicieron variar las velocidades de alimentación y rotación. Se consideró un número variable de repeticiones según cada condición de trabajo, las cuales variaron de 3 a 6. Las evaluaciones de calidad se basan sobre aspectos de rugosidad superficial (parámetros Ra y Rz) y norma ASTM 1666-87.

Se consideró la evaluación cuantitativa del estado superficial mediante el control de la rugosidad superficial. Para ello se utilizó un rugosímetro de contacto, el cual cuantifica diversos parámetros de la topografía superficial de las muestras según la desviación media aritmética del perfil "Ra" y además se consideró el parámetro "Rz", el cual representa la altura máxima del perfil.

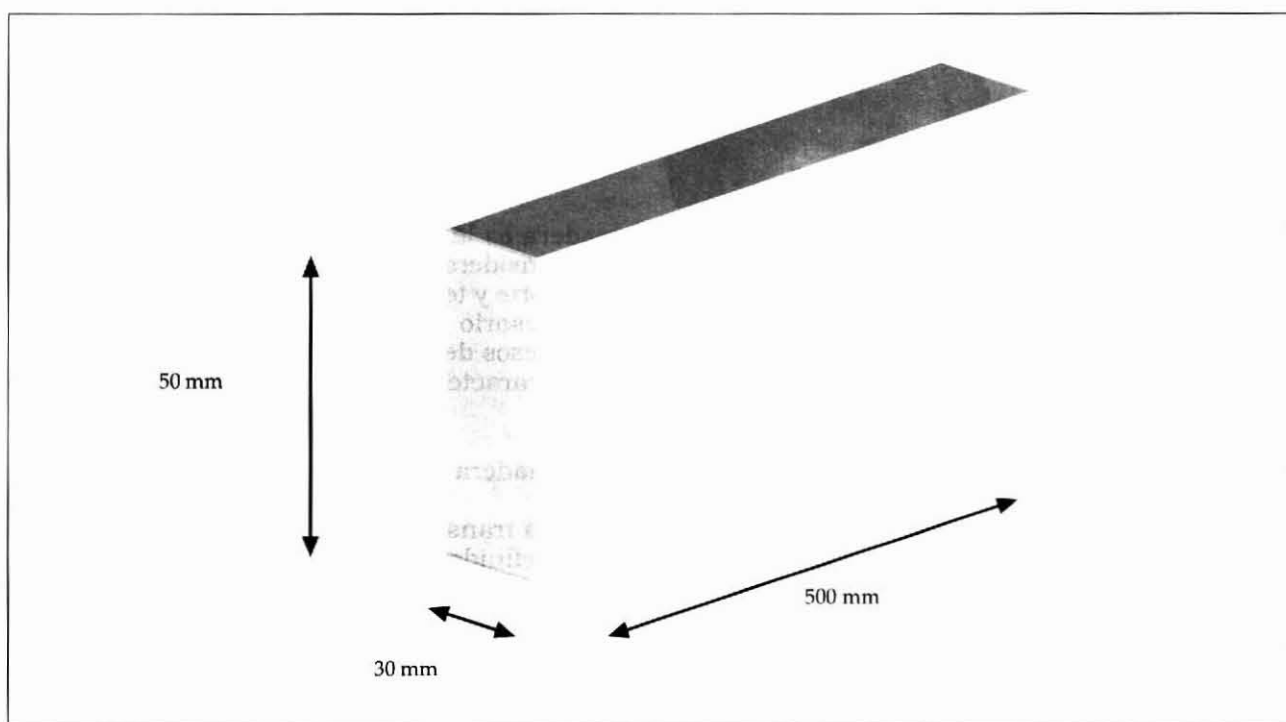
En cuanto a la norma ASTM 1666-87, ésta se utilizó como referencia para caracterizar cualitativamente la calidad superficial obtenida en los maquinados. Se consideró el número de marcas de cuchillo u ondulaciones por pulgada, las cuales son un buen indicador de la calidad, ya que mientras menos marcas por pulgada se detecten en la superficie, menor será la calidad de ésta, y viceversa.

La elección de las probetas para los distintos ensayos se realizó en forma aleatoria, (sin considerar procedencia en altura del árbol ni tipo de corte) con la única condición que las piezas de madera empleadas para la confección de las probetas fueran secadas artificialmente y libres de defectos y grietas.

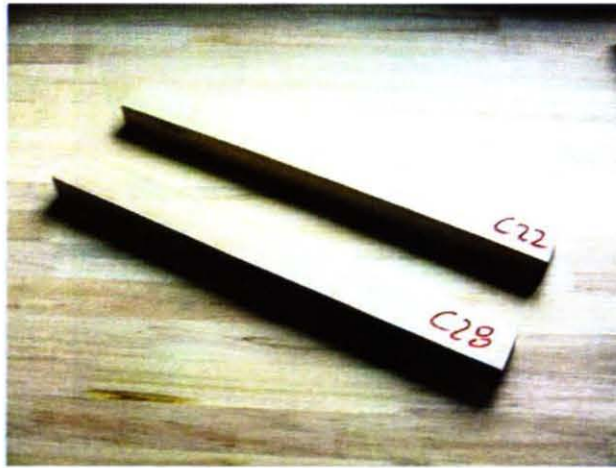
El contenido de humedad promedio de las piezas fue de 10,5% al momento de los ensayos y su densidad básica promedio fue 0,48 gr/cm<sup>3</sup>.

#### *Proceso de cepillado*

Se realizaron nueve tratamientos, combinando 3 velocidades de rotación: 3.200, 4.200 y 6.000 rpm, y 3 niveles de velocidad de alimentación: 8, 11 y 22 m/min. Las probetas utilizadas para el ensayo de cepillado presentaron las siguientes dimensiones y formas (Figuras 65 y 66):



**FIGURA 65**  
**DIMENSIONES DE LA PROBETA DE CEPILLADO**



**FIGURA 66**  
**PROBETA DE CEPILLADO**

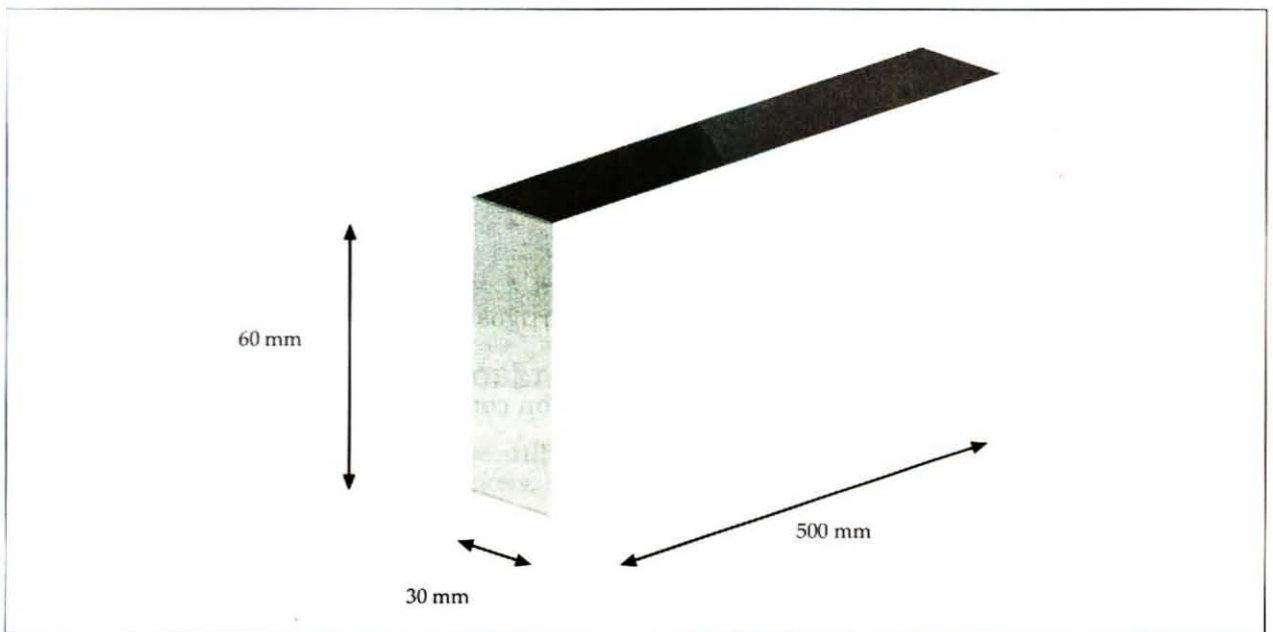
Para cada una de las combinaciones de maquinado se realizaron cuatro repeticiones. Posteriormente se evaluó tres veces la rugosidad superficial, en cada combinación de maquinado, obteniéndose de esta forma un promedio de la rugosidad.

El cabezal de cepillado utilizado se caracteriza por tener un diámetro de 120 mm y dos elementos de corte.

#### *Proceso de moldurado*

Para realizar los ensayos de moldurado se emplearon tres combinaciones de velocidades de alimentación: 8, 11 y 22 m/min y tres velocidades de rotación: 3200, 4200 y 6000 rpm, lo cual generó 9 tratamientos, con 4 repeticiones cada uno.

Las dimensiones de las probetas que se utilizaron se muestran en las Figuras 67 y 68:



**FIGURA 67**  
**DIMENSIONES DE LAS PROBETAS DE MOLDURADO**



**FIGURA 68**  
**PROBETAS PARA ENSAYOS DE MOLDURADO**

Se realizaron cuatro repeticiones para cada combinación de moldurado y en cada repetición se midió tres veces la rugosidad superficial, tanto en el parámetro Ra como en el Rz. Esta medición se realizó sobre la curvatura principal de la moldura.

Las herramientas utilizadas para estos ensayos fueron montadas en una máquina tupí. Estas tienen un diámetro de 125 mm y dos elementos de corte.

#### *Proceso de Escopleado*

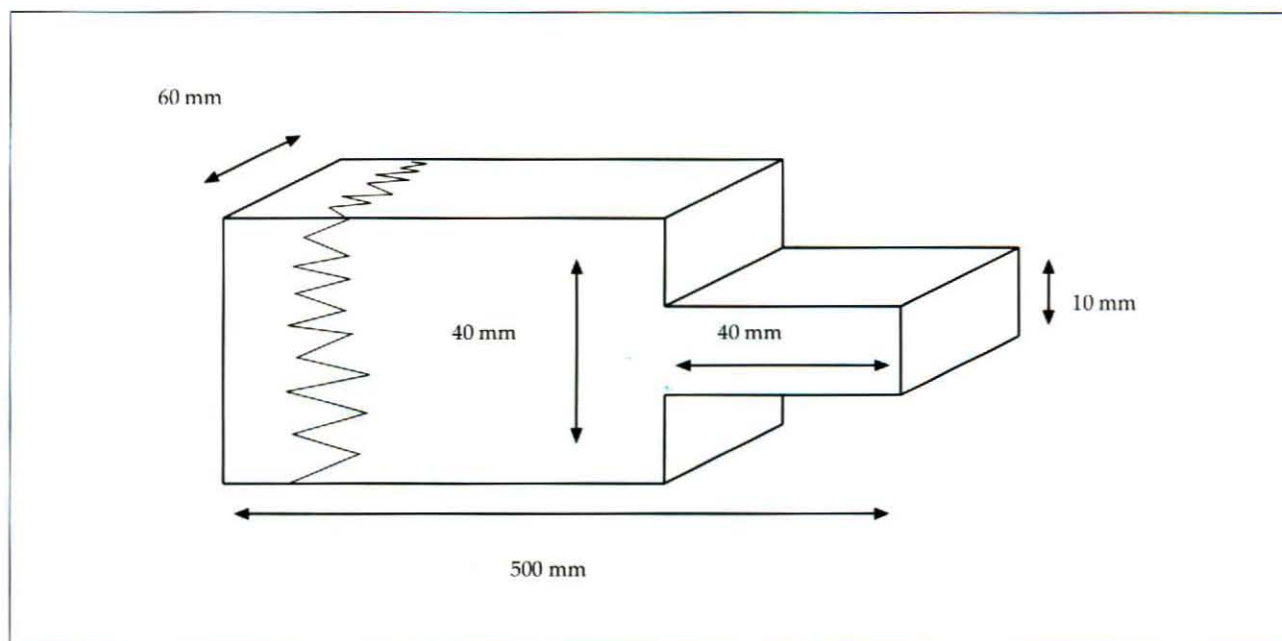
En la formación de la espiga en el escopleado se utilizaron 6 combinaciones de las condiciones de corte.

Las velocidades de alimentación empleadas fueron tres: 4, 8 y 11 m/min, junto a dos velocidades de rotación: 3.200 y 4.200 rpm.

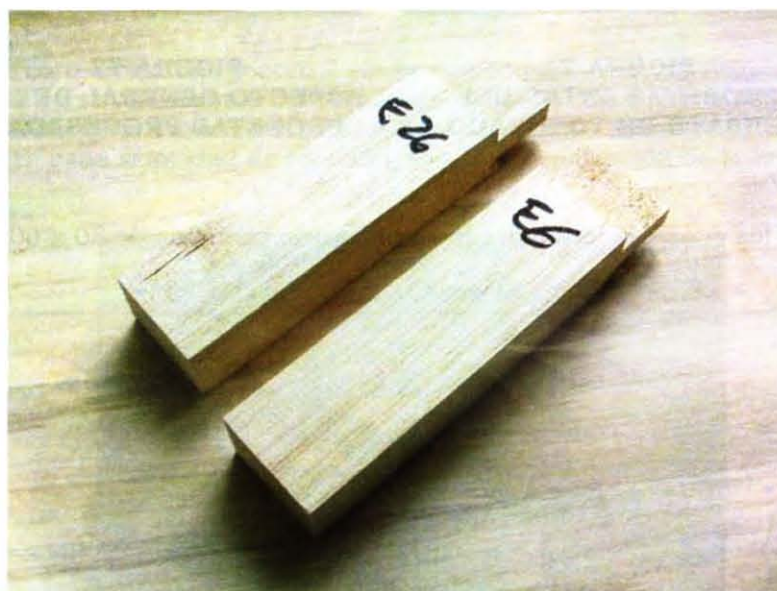
Para cada combinación de velocidad de alimentación y velocidad de rotación se realizaron 6 repeticiones, en cada una de las cuales se midió la rugosidad superficial de las piezas en los parámetros Ra y Rz.

Las dimensiones y forma de las probetas que se utilizaron con la espiga se muestran en las Figuras 69 y 70.





**FIGURA 69**  
**DIMENSIONES DE LAS PROBETAS DE ESCOPLEADO**



**FIGURA 70**  
**PROBETAS DE ESCOPLEADO**

Para la ejecución de estos ensayos se utilizó una máquina tupí a la cual se le montó una sierra circular con las siguientes características:

|                   |          |
|-------------------|----------|
| Diámetro          | = 250mm  |
| Paso              | = 32 mm  |
| Número de dientes | = 24     |
| Ancho de corte    | = 3,5 mm |

Esta sierra fue montada sobre un buje inclinado la que se reguló para que produjera un corte de 15 mm de ancho.

### Proceso de torneado

Para el torneado se emplearon probetas de 40 x 40 x 500 mm y se aplicaron tres velocidades de rotación: 1.560, 1.100 y 775 rpm, con una velocidad de desplazamiento de la herramienta de corte de 0,6 m/min para generar la pieza esperada, repitiéndose el ensayo tres veces para cada velocidad de rotación. (Figura 71). Posteriormente, se realizaron tres mediciones de la rugosidad por cada condición de torneado, con los parámetros de rugosidad Ra y Rz, en las probetas expuestas en la Figura 72.



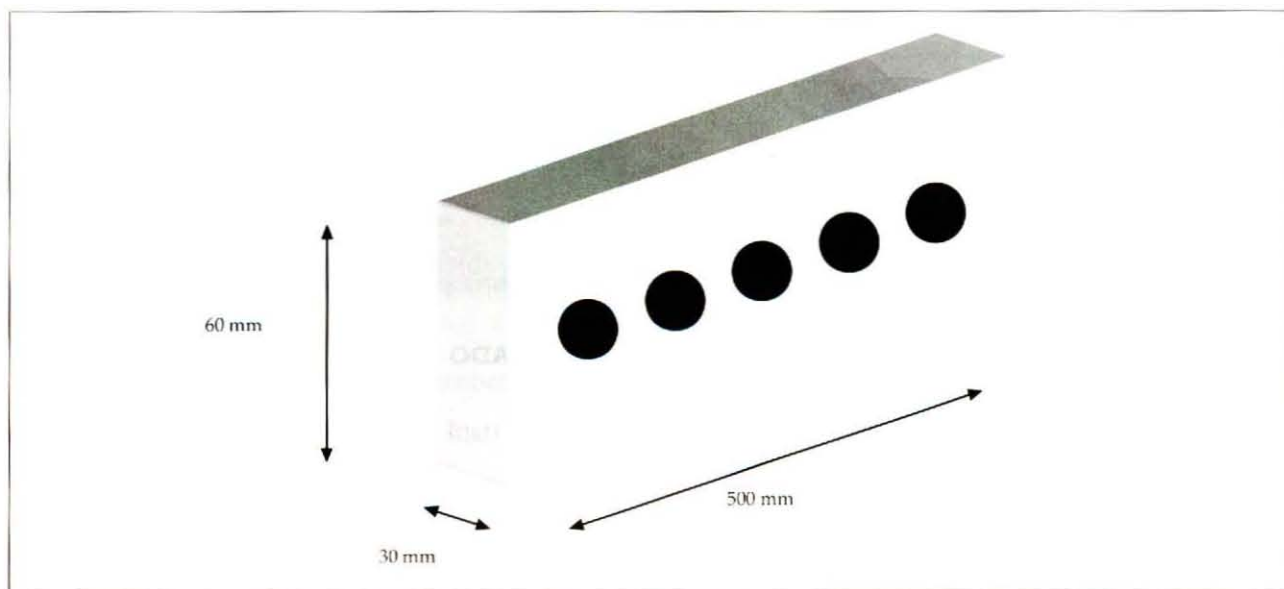
**FIGURA 71**  
**PROBETAS ANTES DEL**  
**ENSAYO DE TORNEADO**



**FIGURA 72**  
**ASPECTO GENERAL DE LAS**  
**PROBETAS PROCESADAS**

### Proceso de taladrado

Para la ejecución de los ensayos de taladrado se utilizaron probetas de 30 x 60 x 500 mm (Figuras 73 y 74).



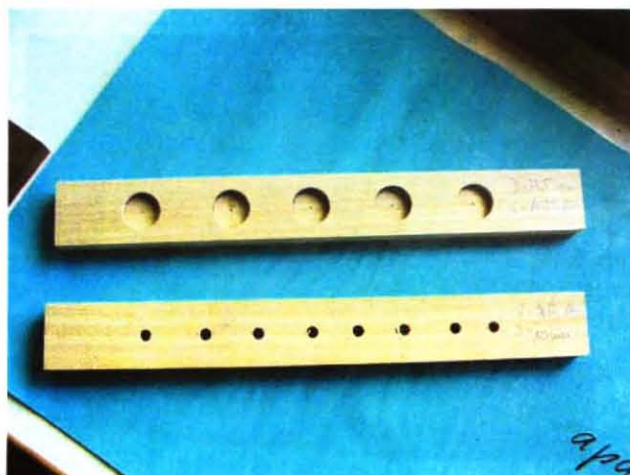
**FIGURA 73**  
**DIMENSIONES DE PROBETAS DE TALADRADO**



**FIGURA 74**  
**DIMENSIONES DE PROBETAS DE TALADRADO**

La máquina utilizada fue una desfondadora que permite dos velocidades de rotación del eje, 9.650 y 19.270 rpm. Se consideró para los ensayos dos tipos de herramientas, una de 10 mm y otra de 34,5 mm de diámetro.

Las herramientas de corte utilizadas poseen 2 elementos de corte. Para la situación de la herramienta de 34,5 mm de diámetro se realizaron 5 repeticiones para cada velocidad de rotación. La herramienta penetró 10 mm en la madera. Para la herramienta de 10 mm de diámetro se consideró un mínimo de 6 repeticiones para cada velocidad de rotación, con una penetración de la herramienta de 13 mm (Figura 75).

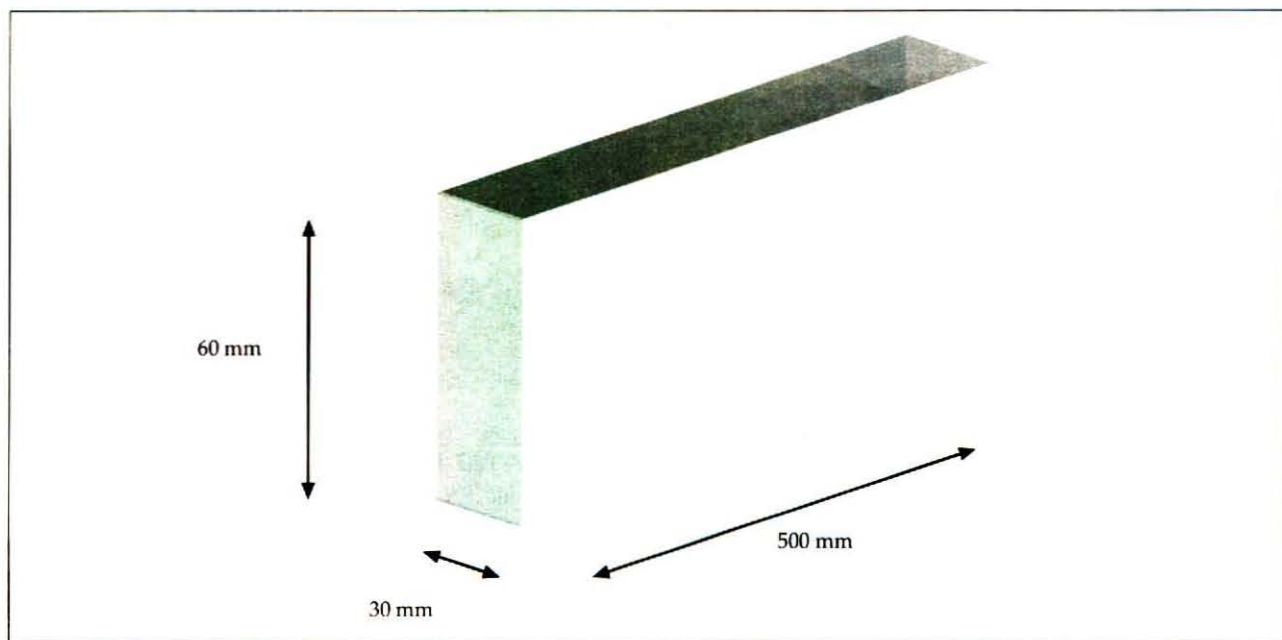


**FIGURA 75**  
**PROBETAS SOMETIDAS AL TALADRADO**



### Proceso de lijado

Para la ejecución de estos ensayos se utilizaron probetas con las dimensiones indicadas en la Figura 76. Se emplearon tres tipos de lijas, grano 80, 120 y 180 (Figura 77), con tres repeticiones por ensayo.



**FIGURA 76**  
**DIMENSIONES GENERALES DE LAS PROBETAS DE LIJADO**

Para el análisis de los resultados se consideraron los parámetros de rugosidad "Ra" y "Rz", así como también se empleó como referencia la norma ASTM 1666-87.



**FIGURA 77**  
**LIJAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS (80, 120, 180)**

6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3.1 Proceso Cepillado

En la Tabla 63 y Figura 78, se exponen los resultados obtenidos en el ensayo de cepillado, en micrómetros (µm).

TABLA 63  
RUGOSIDAD SUPERFICIAL “Ra” SEGÚN VELOCIDADES DE ROTACIÓN Y AVANCE PARA CEPILLADO (µm).

| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de alimentación (m/min) |      |      |
|-----------------------------|-----------------------------------|------|------|
|                             | 8                                 | 11   | 22   |
| 3.200                       | 5,34                              | 5,87 | 6,22 |
| 4.200                       | 4,39                              | 4,55 | 5,21 |
| 6.000                       | 3,36                              | 4,16 | 4,83 |

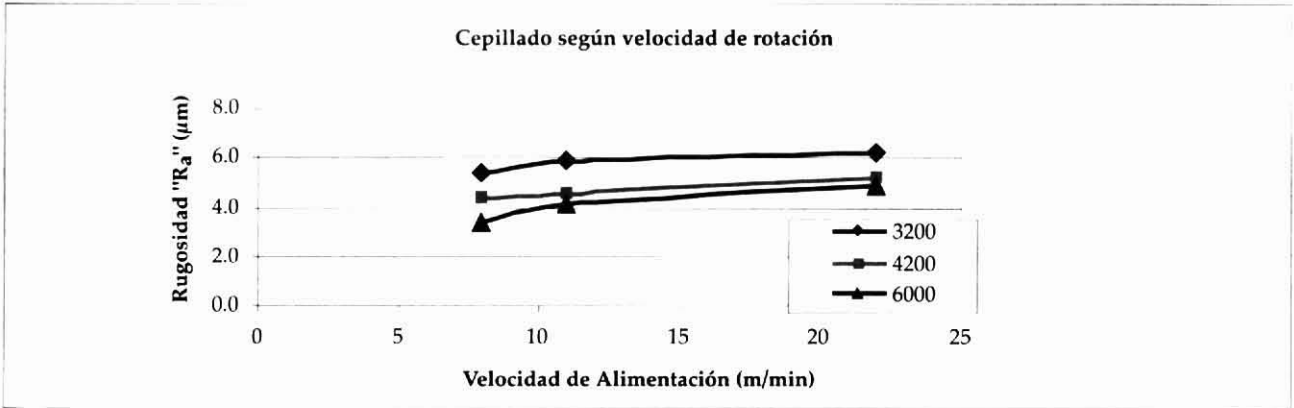
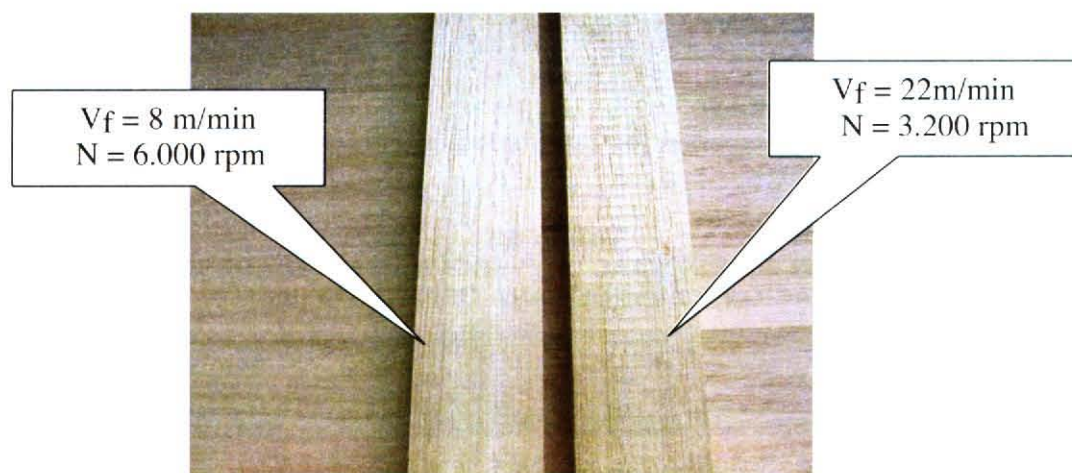


FIGURA 78  
EFECTO DE LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN (m/min) SOBRE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE ROTACIÓN

En términos generales, la rugosidad superficial disminuye, en forma significativa, si la velocidad de rotación aumenta.

Ahora, si se analiza la rugosidad superficial respecto a la velocidad de alimentación, podemos observar que a medida que aumenta esta velocidad, la rugosidad superficial crece, es decir, la superficie de la madera se degrada en calidad, cuando las velocidades de rotación son bajas.

La menor rugosidad superficial fue de 3,36 µm en el parámetro Ra a 8 m/min y 6.000 rpm y la mayor rugosidad se obtuvo al combinar 3.200 rpm y 22 m/min siendo de 6,22 µm. En la Figura 79, es posible observar el notorio efecto de una excesiva velocidad de avance, la cual genera ondulaciones muy pronunciadas.



**FIGURA 79**  
**DIFERENTES CALIDADES DE CEPILLADO SEGÚN NIVEL DE**  
**VELOCIDAD DE AVANCE Y ROTACIÓN**

Evaluación cepillado conforme a ASTM 1666-87:

**TABLA 64**  
**EVALUACIÓN CEPILLADO CON ASTM 1666-87**

| <b>T</b> | <b>Vr<br/>(rpm)</b> | <b>Vf<br/>(m/min)</b> | <b>Ondulaciones<br/>por pulgada</b> | <b>Defectos<br/>observados</b>               |
|----------|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| C1       | 3.200               | 8                     | 10                                  | Levantamientos de fibras                     |
| C2       | 3.200               | 11                    | 8                                   | Desgarros severos y levantamientos de fibras |
| C3       | 3.200               | 22                    | 4 1/3                               | Ondulaciones muy pronunciadas                |
| C4       | 4.200               | 8                     | 13                                  | Desgarros fuertes de fibras                  |
| C5       | 4.200               | 11                    | 11                                  | Desgarros leves                              |
| C6       | 4.200               | 22                    | 5                                   | Desgarros leves y ondulaciones pronunciadas  |
| C7       | 6.000               | 8                     | 10                                  | Ninguno                                      |
| C8       | 6.000               | 11                    | 8                                   | Ninguno                                      |
| C9       | 6.000               | 22                    | 6                                   | Desgarros leves                              |

Donde:

T = Tratamiento

Vr = Velocidad de rotación (rpm)

Vf = Velocidad de avance (m/min)

Al analizar en conjunto la rugosidad superficial y la evaluación cualitativa según ASTM (Tabla 64), se puede concluir que existe una consistencia en los resultados obtenidos en cuanto que se obtiene una cantidad aceptable de marcas de cuchillo por pulgada, observándose además la ausencia de defectos en la superficie para el caso del tratamiento C7. Otra condición favorable es aquella del tratamiento C8 donde se dan las mismas condiciones anteriores.

El otro extremo, donde se dan condiciones desfavorables, es en el tratamiento C3, donde una alta velocidad de alimentación y baja velocidad de rotación originan ondulaciones muy pronunciadas, lo cual indica que en procesos posteriores se requerirá un lijado intensivo.

Las mejores condiciones están dadas para los tratamientos C7 (6.000 rpm y 8 m/min) al C9 (6.000 rpm y 22 m/min), favoreciendo este último una mayor producción.



6.3.2 Proceso Moldurado

Los ensayos de molduras, como se aprecia en la Figura 80, se realizaron sobre el canto de las probetas, haciéndose variar ambas velocidades en tres niveles.

Sobre la moldura se efectuaron las mediciones de la rugosidad superficial considerando los criterios “Ra” y “Rz”, los que se presentan en la Tabla 65.

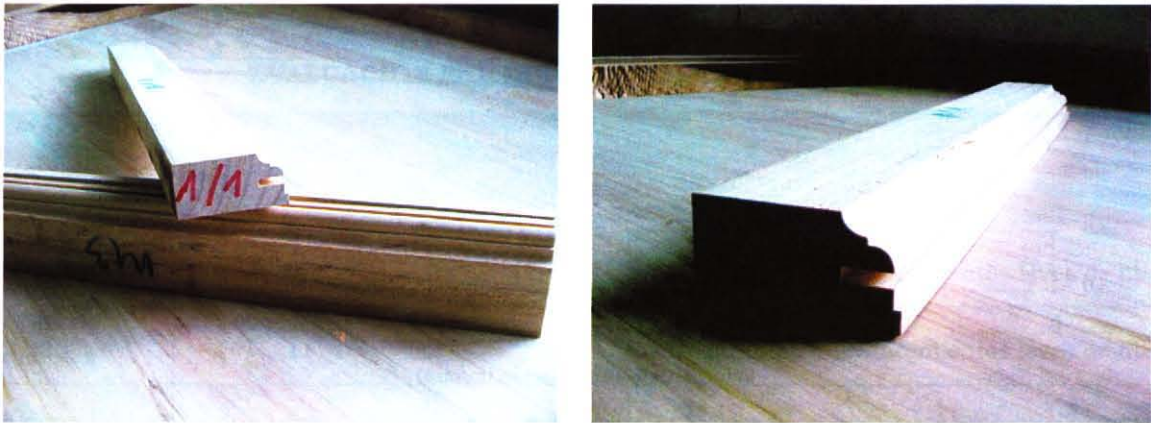


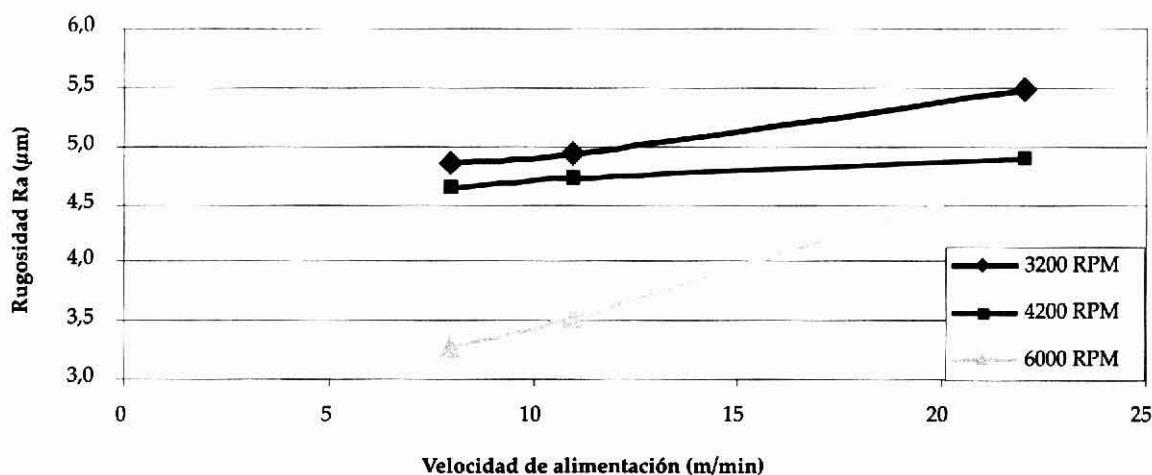
FIGURA 80  
PROBETAS DE MOLDURADO DESPUÉS DEL PROCESO

TABLA 65  
RUGOSIDAD SUPERFICIAL OBTENIDA SEGÚN VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN Y ROTACIÓN EN ENSAYO DE MOLDURADO.

| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de alimentación (m/min) |         |         |         |         |         |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                             | 8                                 |         | 11      |         | 22      |         |
|                             | Ra (µm)                           | Rz (µm) | Ra (µm) | Rz (µm) | Ra (µm) | Rz (µm) |
| 3.200                       | 4,85                              | 29,74   | 4,92    | 31,49   | 5,48    | 31,86   |
| 4.200                       | 4,63                              | 27,90   | 4,72    | 30,07   | 4,88    | 30,33   |
| 6.000                       | 3,28                              | 23,02   | 3,52    | 22,39   | 4,71    | 30,44   |

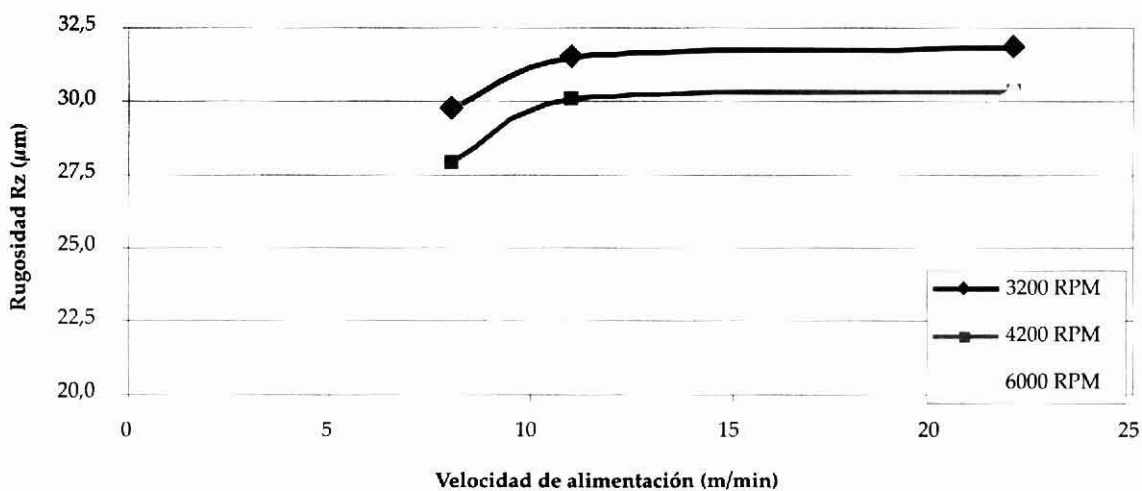
En la Tabla 65 se observa claramente que para una situación constante de la velocidad de rotación, la rugosidad superficial se incrementa al trabajar con velocidades de alimentación superiores, lo que se hace más evidente cuando se trabaja a mayor velocidad de rotación. Esto queda también reflejado en las Figuras 81 y 82.

Rugosidad superficial a distintas velocidades de rotación y alimentación



**FIGURA 81**  
**RUGOSIDAD SUPERFICIAL “ $R_a$ ” SEGÚN AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN, PARA LOS 3 NIVELES DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN**

Rugosidad superficial a distintas velocidades de rotación y alimentación



**FIGURA 82**  
**RUGOSIDAD SUPERFICIAL “ $R_z$ ” SEGÚN AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN, PARA LOS 3 NIVELES DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN**

Independiente del parámetro de rugosidad ( $R_a$  o  $R_z$ ) utilizado para evaluar la rugosidad superficial, la tendencia de los resultados es la misma, a mayor velocidad de alimentación y menor velocidad de rotación, se genera una mayor rugosidad superficial, es decir, un mayor deterioro de la calidad de la superficie.

En relación al análisis tomando como referencia la norma ASTM 1666-87, queda de manifiesto que para el caso del moldurado, las velocidades de rotación más altas permiten generar una superficie libre de defectos, no obstante que para las otras situaciones de maquinado los defectos fueron de carácter leve. Para 6.000 rpm se puede utilizar una mayor velocidad de alimentación, permitiendo mayores volúmenes de producción.

Evaluación moldurado conforme a ASTM 1666-87 (Tabla 66).

**TABLA 66**  
**EVALUACIÓN MOLDURADO CON ASTM 1666-87**

| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de avance (m/min) | Ondulaciones por pulgada | Defectos observados                         |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 3.200                       | 8                           | 11-12                    | De ninguno a levantamientos leves de fibras |
| 3.200                       | 11                          | 8-9                      | De ninguno a levantamientos leves de fibras |
| 3.200                       | 22                          | 5-6                      | De ninguno a levantamientos leves de fibras |
| 4.200                       | 8                           | 14-15                    | De ninguno a levantamientos leves de fibras |
| 4.200                       | 11                          | 10-11                    | De ninguno a levantamientos leves de fibras |
| 4.200                       | 22                          | 5.5-7                    | Algunos levantamientos de fibras            |
| 6.000                       | 8                           | 10-11                    | Ninguno                                     |
| 6.000                       | 11                          | 9-14                     | Ninguno                                     |
| 6.000                       | 22                          | 10-11                    | Ninguno                                     |

### 6.3.3 Proceso Escopleado

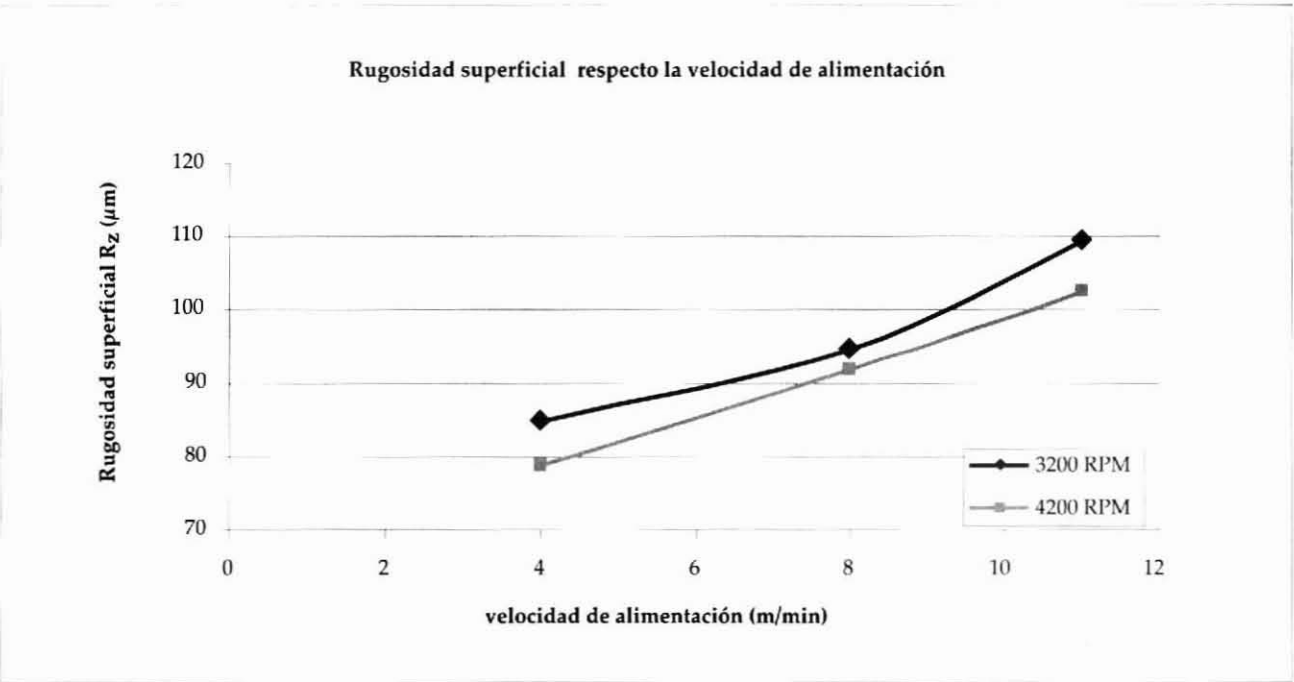
Al igual que en los ensayos anteriores, es posible apreciar mejores calidades de maquinado con altas velocidades de las herramientas de corte y bajas velocidades de alimentación, sin embargo se encuentran niveles similares de rugosidad tanto para 8 como para 11 m/min, por lo cual en beneficio de una mejora en la productividad y sin detrimento de la calidad, es posible optar por la velocidad de alimentación más alta (Tabla 67).

**TABLA 67**  
**RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LOS TRATAMIENTOS DE ESCOPLEADO.**

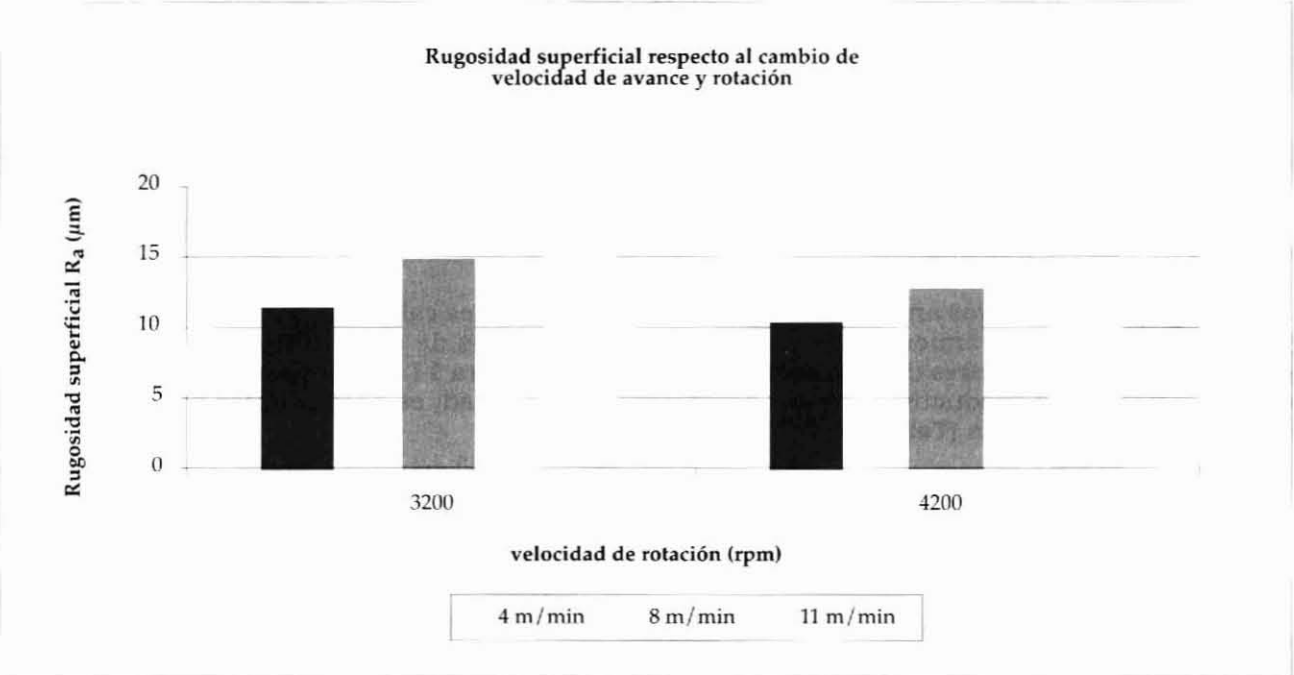
| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de alimentación (m/min) |         |         |         |         |         |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                             | 4                                 |         | 8       |         | 11      |         |
|                             | Ra (μm)                           | Rz (μm) | Ra (μm) | Rz (μm) | Ra (μm) | Rz (μm) |
| 3.200                       | 11,54                             | 84,95   | 15,02   | 94,67   | 15,82   | 109,33  |
| 4.200                       | 10,58                             | 78,78   | 13,00   | 91,93   | 13,98   | 102,34  |



Estas situaciones quedan reflejadas en las Figuras 83 y 84, en las cuales se presentan ambos parámetros de rugosidad con fines comparativos.

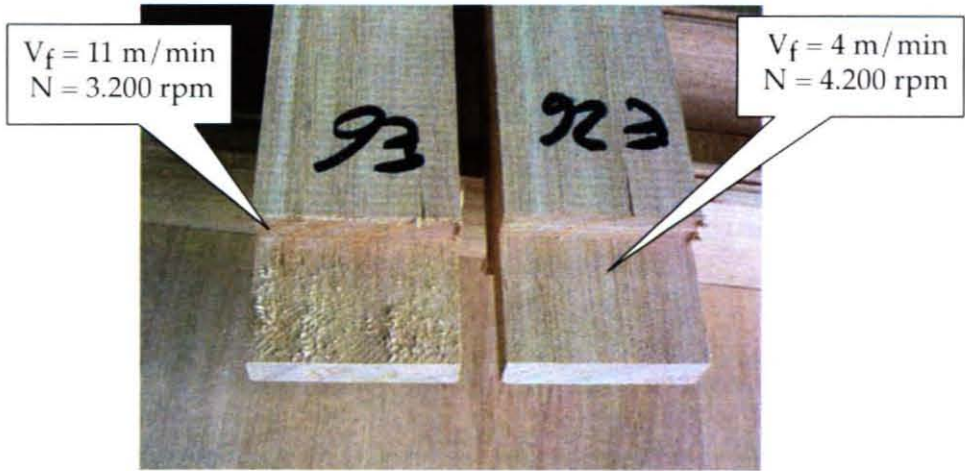


**FIGURA 83**  
**EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL “ $R_z$ ” SEGÚN VELOCIDAD DE ROTACIÓN**



**FIGURA 84**  
**EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN SOBRE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL “ $R_a$ ” SEGÚN VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN**

Para ambos parámetros de rugosidad se observa la misma tendencia, mejorándose la calidad de la superficie cuando se trabaja con mayores velocidades de rotación de la herramienta de corte, como se aprecia en la Figura 85.



**FIGURA 85**  
**EFFECTO DEL CAMBIO DE VELOCIDADES DE MAQUINADO SOBRE LA CALIDAD SUPERFICIAL**

En la Figura 85 se observa claramente el efecto de la variación de las condiciones de maquinado sobre la madera. Para su evaluación se utiliza como referencia la norma ASTM, cuyo resultado se indica en la Tabla 68.

**TABLA 68**  
**EVALUACIÓN ESCOPLEADO CON ASTM 1666-87**

| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de avance (m/min) | Defectos observados                            |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|
| 3.200                       | 4                           | Ninguno                                        |
| 3.200                       | 8                           | Fibras apelmusadas de carácter grave           |
| 3.200                       | 11                          | Fibras apelmusadas de carácter grave a severo  |
| 4.200                       | 4                           | Ninguno                                        |
| 4.200                       | 8                           | Ninguno a fibras apelmusadas leves             |
| 4.200                       | 11                          | Fibras apelmusadas de carácter regular a bueno |

Se observa que los niveles más favorables son aquellos de baja velocidad de alimentación en los cuales no hay defectos visibles. Dado el tipo de herramienta utilizada, la mayor velocidad de alimentación generó principalmente apelmusamiento de fibras, situación que se agrava con la disminución de la velocidad de rotación.

6.3.4 Proceso Torneado

La Figura 86 y la Tabla 69 indican los resultados obtenidos para ambos parámetros de rugosidad. Se observa que considerando constante la velocidad de desplazamiento de la herramienta de corte, la mayor velocidad de rotación genera la mejor calidad superficial en torneado, respuesta que es sensiblemente importante para el parámetro “Rz”. Además, para las velocidades de 1.100 y 775 rpm se obtienen niveles similares de rugosidad generando, indistintamente, una mala calidad superficial.

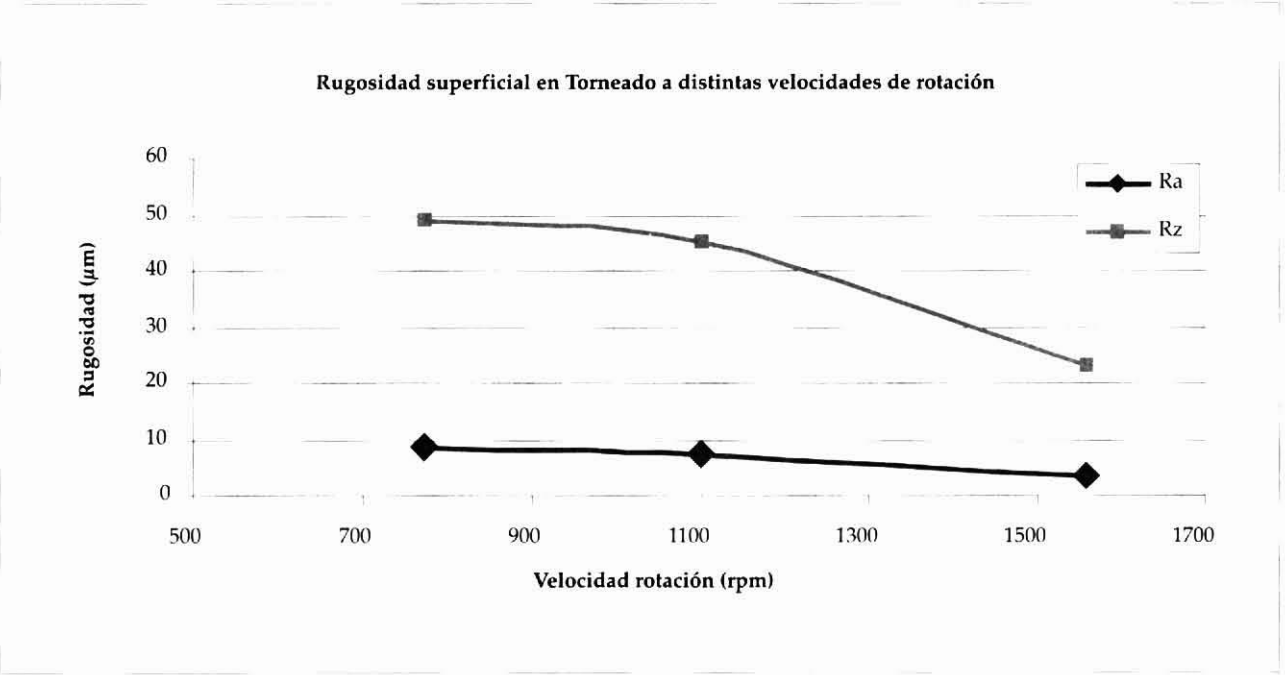


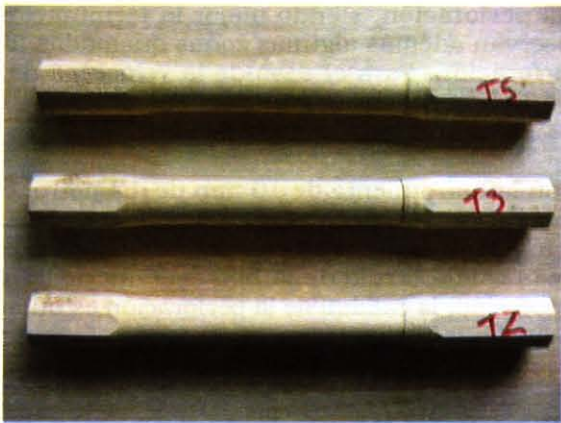
FIGURA 86  
RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN TORNEADO

TABLA 69  
RUGOSIDAD EN TORNEADO SEGÚN RPM

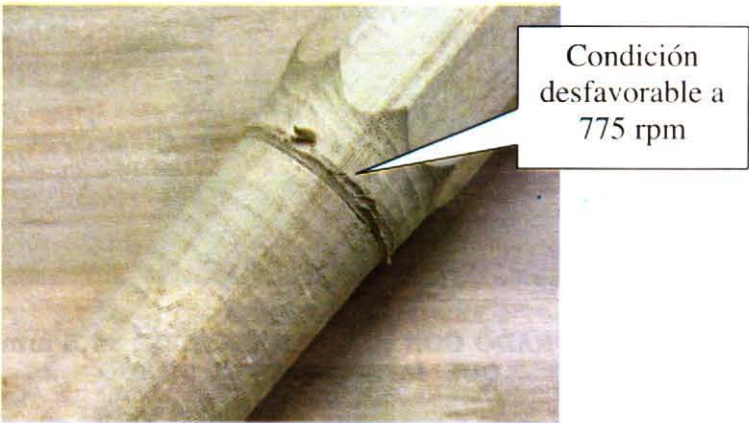
| rpm      | Ra (µm) | Rz (µm) |
|----------|---------|---------|
| 1.560,00 | 3,26    | 23,00   |
| 1.100,00 | 7,18    | 44,93   |
| 775,00   | 8,43    | 48,93   |



Como ya se mencionó, la mejor condición de rugosidad superficial está asociada con la mayor velocidad de rotación y la peor condición de rugosidad se relaciona con la menor velocidad de rotación, esto queda de manifiesto en las Figuras 87 y 88.



**FIGURA 87**  
**ASPECTO GENERAL DE LAS PROBETAS PROCESADAS**



**FIGURA 88**  
**CONDICIÓN DESFAVORABLE DE TORNEADO**

**TABLA 70**  
**EVALUACIÓN TORNEADO CON ASTM 1666-87**

| Velocidad de rotación (rpm) | Velocidad de avance (m/min) | Defectos observados                                                 |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1.560,00                    | 0,60                        | Sin defectos ni marcas y muy leve levantamiento de fibras           |
| 1.100,00                    | 0,60                        | Sin marcas y presencia de levantamiento severo y desgarró de fibras |
| 775,00                      | 0,60                        | Desgarros severos y levantamientos de fibras                        |

Los análisis de rugosidad son consistentes con los observados considerando la norma ASTM (Tabla 70) ya que la mayor velocidad de rotación no generó defectos de importancia, sólo un muy leve levantamiento de fibras. Por el contrario, en la situación más desfavorable, es decir, con la menor velocidad de rotación, se observaron desgarró y levantamientos severos de fibras.

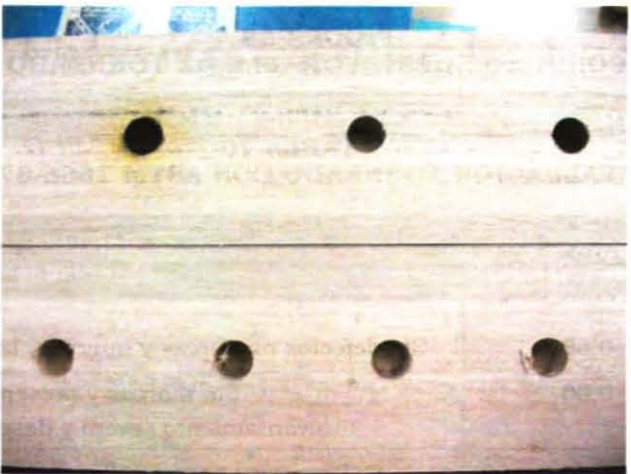
**6.3.5 Proceso de Taladrado**

El análisis de los resultados considera la referencia de la norma ASTM 1666-87. Se observó para el taladrado a 34,5 mm que la velocidad de 19.270 rpm genera una menor cantidad de levantamiento de fibras en los costados de la perforación, siendo mejor la terminación en la madera tardía que en la madera temprana. Se observan además algunas zonas quemadas (Figura 89) y levantamientos de fibras en el fondo de la perforación. Para el caso de la velocidad de 9.650 rpm, la calidad del taladrado es buena pero con un aumento del levantamiento de fibras especialmente en la madera temprana.

Similar situación se observó con la herramienta de 10 mm de diámetro, con la cual la alta velocidad de rotación generó una muy buena calidad de la perforación, lográndose, en madera temprana una buena terminación. Un aspecto negativo fue el quemado, debido a un problema de proceso dadas la alta velocidad de rotación y la salida tardía de la herramienta de la madera (Figura 90). Para el caso de la velocidad inferior de rotación, la calidad de la perforación es buena, con leves levantamientos de fibras en el exterior y sin zonas quemadas.



**FIGURA 89**  
**ENSAYO DE TALADRADO CON HERRAMIENTA DE 34,5 mm DE DIÁMETRO.**  
**QUEMADURAS EN EL FONDO**



**FIGURA 90**  
**ENSAYO DE TALADRADO CON HERRAMIENTA DE 10 mm DE DIÁMETRO.**  
**QUEMADURAS Y LEVANTAMIENTOS DE FIBRAS EN EL EXTERIOR**

### 6.3.6 Proceso Lijado

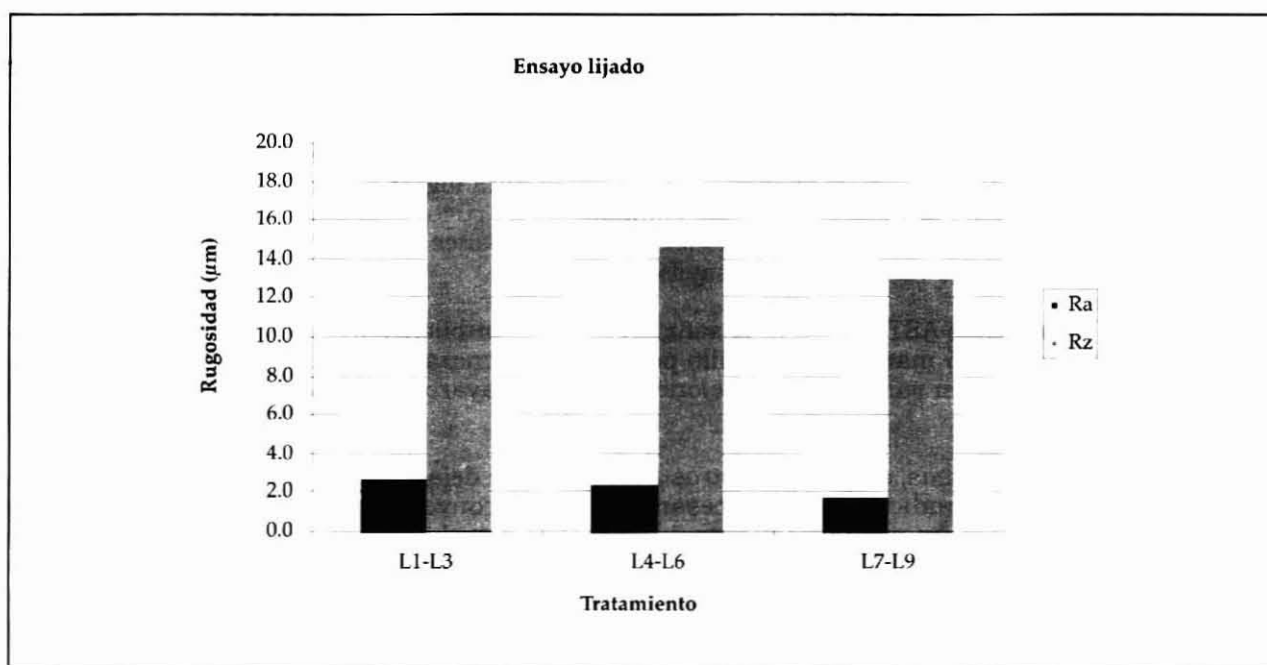
Se observa que los niveles de rugosidad para ambos parámetros siguen una tendencia similar, en cuanto que los valores están correlacionados con el grano de la lija (Tabla 71).

**TABLA 71**  
**RUGOSIDAD SUPERFICIAL SEGÚN TRATAMIENTO**

| Tratamiento | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
|-------------|----------------------|----------------------|
| L1-L3       | 2,77                 | 18,04                |
| L4-L6       | 2,41                 | 14,70                |
| L7-L9       | 1,80                 | 13,06                |

Nota: L1-L3 usa grano 80.  
L4-L6 usa grano 120.  
L7-L9 usa grano 180.

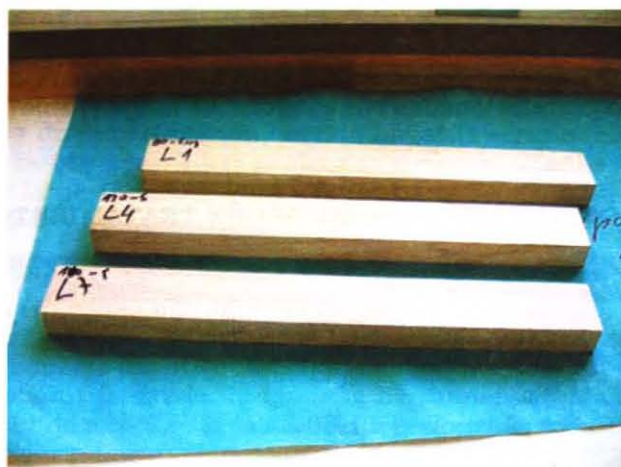
Como es de esperar la mejor calidad la otorga el uso de grano 180, siendo la calidad inferior con grano 80 (Figuras 91 y 92).



**FIGURA 91**  
**COMPORTAMIENTO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL SEGÚN GRANO DE LIJA**

En general se aprecia una facilidad en el lijado de la madera, al no producirse rayaduras severas sobre la superficie al utilizar el grano 80. Tampoco se observa otro tipo de defectos como apelmusamiento o levantamiento de fibras. Los defectos presentes antes del lijado, como marcas de cepillado, fueron completamente eliminados indistintamente con los tres tipos de lijas utilizados.





**FIGURA 92**  
**ASPECTO GENERAL DE LAS PROBETAS ENSAYADAS EN LIJADO**

#### **6.4 CONCLUSIONES**

Los ensayos realizados en *Eucalyptus nitens* han mostrado resultados que desde el punto de vista de la teoría de los procesos de corte, son consistentes con los antecedentes entregado por Aguilera (2003), es decir, para altas velocidades de corte se observaron niveles de rugosidad superficial menores. Para los casos de cepillado y moldurado, es importante considerar que a mayor número de marcas de cuchillo por unidad de longitud (pulgada), se alcanza una mejor calidad superficial (ASTM 1666-87), viéndose reflejado en un mejor índice de la calidad superficial.

Para todos los procesos de trabajabilidad estudiados debe lograrse una adecuada relación entre las velocidades de corte (rotación) y de avance (alimentación) para lograr adecuados índices de calidad. Esta relación es la base para lograr distintas condiciones de rugosidad aceptable, por ello, frente a una misma madera, existirán varias condiciones en que se alcance una adecuada calidad superficial. Esta situación se logró en varios de los ensayos realizados.

De acuerdo a las normas ASTM y como la señalan algunas publicaciones como Harriague (1999) y Lyptus (s/f), entre 14-16 marcas de cuchillo por pulgada generan una buena calidad superficial. Esta condición se logró en varias de las opciones que se ensayaron en cada uno de los procesos de trabajabilidad.

La especie *Eucalyptus nitens*, al igual que otros *Eucalyptus* se deja trabajar adecuadamente con una serie de alternativas y condiciones de procesamiento sin inconvenientes en los distintos procesos de maquinado. Presentó un comportamiento de adecuado a óptimo en cepillado, moldurado, lijado y taladrado. Sólo algunas complicaciones de tipo menor se dieron en el proceso de taladrado y escopleado. Esto podría tener explicación en problemas propios del procesamiento y maquinaria utilizada, más que por un comportamiento de la especie.

En todos los procesos, al aplicar una misma condición de maquinado sobre superficies radiales o tangenciales, es posible esperar una diferenciación entre la rugosidad en ambos cortes, sin embargo, si las condiciones de maquinado son seleccionadas una forma correcta, en función del tipo de madera, se esperaría lograr calidades de terminación superficial adecuadas.

## 6.5 REFERENCIAS

**Aguilera A. 2003.** Universidad Austral de Chile. Proyecto DID 2002 “Contribución al maquinado de especies madereras de interés económico para la industria del mueble. Estudio de los procesos de corte y de la calidad en diferentes condiciones de maquinado” Código: 2002-04.

**ASTM 1666-87. 1999.** Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Based Materials. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 19p.

**Harriague F. 1999.** Estudio de la trabajabilidad de diez especies maderables de Santa Cruz. Documento Técnico 73/1999. Proyecto de manejo forestal sostenible BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 65p.

Lyptus (s/f). Recomendações Técnicas de Usinagem, Colagem e Acabamento. 18p.





## CAPITULO VII

# TABLEROS CONTRACHAPADOS

Hernán Poblete Wilson\*  
hpoblete@uach.cl

### 7.1 ANTECEDENTES GENERALES

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

Desde el punto de vista del rendimiento son importantes la forma, el diámetro de la troza y el tipo de manejo aplicado. También afectan la calidad del producto y el rendimiento del proceso las características de la madera (organolépticas, densidad, valor de pH, entre otros). Estas últimas 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).

Por las razones expuestas, 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.

En Chile el "Catastro de Plantaciones Forestales de Eucaliptos" de INFOR – CORMA registra en 1995 (Forestal Mininco, Arauco y Monte Águila) 46.429 ha. de *Eucalyptus nitens*. En la actualidad, se estima que esta superficie ha aumentado a aproximadamente 140.000 ha (Rozas, Sánchez y Miranda, 2001).

Esta especie de rápido crecimiento registra diámetros (DAP) de hasta 40 cm a los 15 años (Poblete, 2002), lo que sumado a su excelente forma y a su nudosidad difusa, con nudos de pequeños diámetros (Figura 105), la constituyen en una especie de muy buenas perspectivas para la producción de láminas.

\* Ingeniero Forestal (1976) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1984) de Georgia Augusta Universität zu Göttingen (Alemania) Especialidad: Tableros y Adhesivos.

En el caso de Nueva Zelanda ya se han realizado experiencias con esta especie para producir LVL (Mc Kenzie, Gaunt, 2001). Los autores concluyen que los trozos de árboles de *Eucalyptus nitens* de 15 años son adecuados para el debobinado y producción de LVL. Señalan que las grietas por tensiones son un aspecto a mejorar en el futuro. Indican además que las altas resistencias registradas hacen recomendable mezclar esta especie con *Pinus radiata* para obtener mejores resultados en la resistencia de los LVL fabricados con esta última especie.

Las experiencias del extranjero incentivaron el desarrollo de estudios sobre el tema en Chile. En el año 2002 se realizaron dos ensayos de debobinado de trozas de *Eucalyptus nitens*, con resultados dispares. En estos ensayos se estudiaron el efecto de la edad, clase diamétrica y tipo de macerado sobre el rendimiento. Se concluye que el rendimiento es similar al que se obtiene con *Pinus radiata* cuando las trozas han sido tratadas adecuadamente desde el volteo hasta el corte en el torno (Poblete, 2002).

Considerando lo anterior y que en Chile existen rodales de *Eucalyptus nitens* que cuentan con edad para permitir la cosecha de trozas debobinables, se ha realizado el presente estudio en los laboratorios del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, con la colaboración de la empresa INFODEMA S.A. En este trabajo se han procesado trozas de diferentes edades y con diferentes procesos de macerado. A diferencia de otros estudios, en este caso los árboles han sido anillados en pie y las trozas se cubrieron en los cortes transversales con cera. Importante es también el hecho de que se contó con un rodal de 21 años que había sido podado.

Los objetivos de esta investigación son:

- Evaluar el efecto de los tiempos de macerado.
- Estado de superficie de las chapas secas de acuerdo a la presencia porcentual de rugosidad, pelusidad, arrancamiento de fibras y variaciones de espesor.
- Confección de tableros contrachapados y caracterización de sus propiedades físicas y mecánicas (espesor, densidad, contenido de humedad, flexión, cizalle)

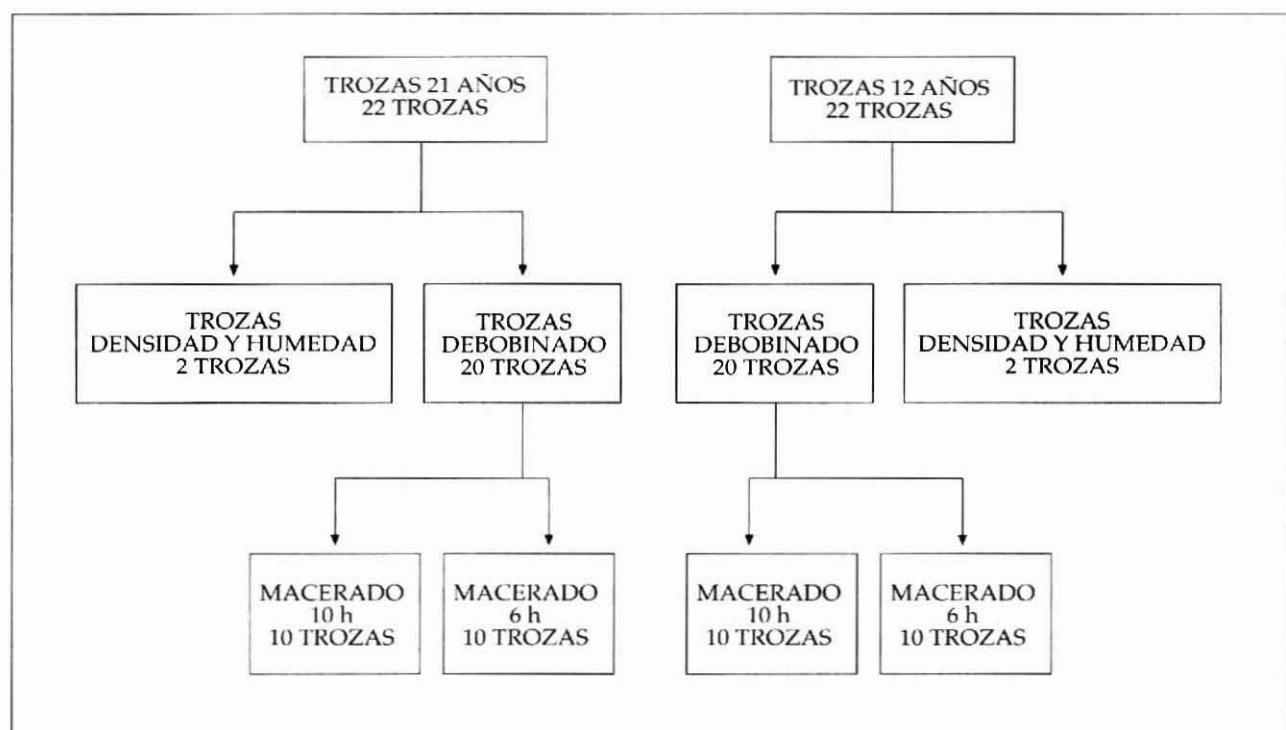
## **7.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **7.2.1 Características de la muestra**

La muestra consideró dos edades de trozas, 12 y 21 años.

Para proceder al macerado, la muestra se dividió en dos grupos, con trozas de ambas edades en cada grupo. Los grupos se sometieron a un tratamiento de macerado por cocción a 70°C. La diferencia por grupo se estableció en el tiempo de macerado, 6 y 10 horas (Figura 93).

Todas las trozas se cortaron a 2,6 m de largo y se consideró como diámetro mínimo 25 cm.



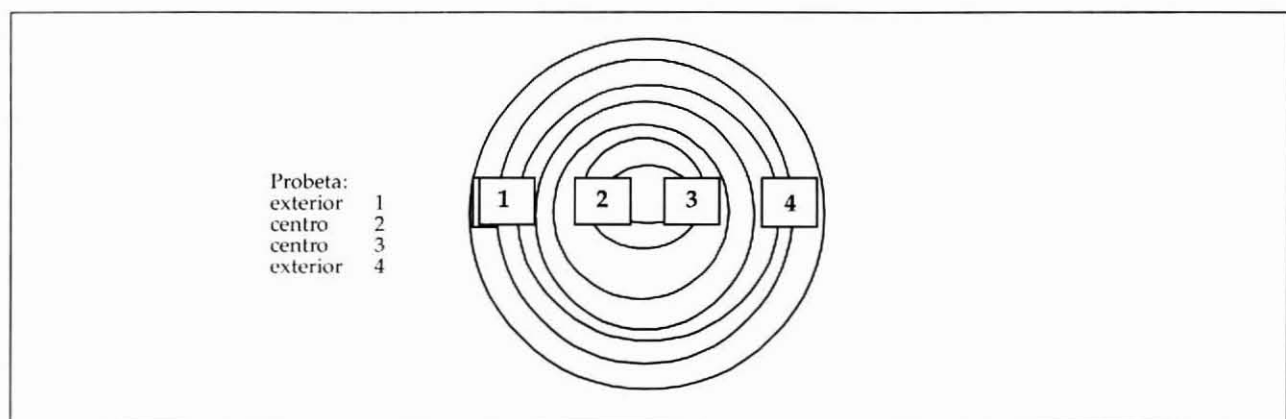
**FIGURA 93**  
**ESQUEMA DEL ENSAYO**

### 7.2.2 Mediciones antes del macerado

**Densidad de la madera:** Se cortaron rodelas de dos trozos por edad para determinar la densidad básica. Este parámetro se determinó sólo para verificar si existen diferencias en la densidad de la madera con la de muestras anteriores y si existe alguna diferencia importante entre las dos edades y entre trozas de distinto diámetro.

La toma de muestras para esta determinación se llevó a cabo de acuerdo con el esquema de la Figura 94.

**Volúmenes:** Se verificaron las mediciones hechas en la cancha de trozas en el bosque. Se procedió a identificar cada trozo y definir a qué tiempo de macerado se destinarían.



**FIGURA 94**  
**ESQUEMA PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE DENSIDAD**



### 7.2.3 Macerado

El proceso de macerado consideró dos tiempos de tratamiento, 6 y 10 horas. La forma de aplicar estos tratamientos se realizó de acuerdo con las pautas normales de la empresa INFODEMA S.A.

A la salida del macerado se registraron los cambios o defectos que pudiesen haber sido provocados por el tratamiento.

### 7.2.4 Debobinado

La madera se debobinó con un espesor de 2,5 mm. Al debobinar se ubicaron en el torno gramiles (cuchillos laterales) que redujeron el largo de la troza a 2,5 m. El equipo empleado fue un torno OLM Colombo Cremona (año 1974).

Durante el proceso se determinó rendimiento como porcentaje del volumen comercial ingresado (volumen JAS), el diámetro del rollete residual y condiciones del mismo. Además se calcularon los rendimientos por clase de diámetro.

También se realizaron algunas observaciones cualitativas respecto al proceso, apreciación del operador del torno sobre el trabajo de corte y aspecto general de las láminas obtenidas.

Durante el debobinado se determinó la temperatura del trozo y del rollete en una muestra al azar, se midió el diámetro del rollete residual y se registraron observaciones sobre el estado de este.

A la salida del torno se controlaron en muestras al azar, los espesores de las láminas y los largos de folio obtenido. Estos últimos se definen como “*Full sheet*” (lámina de largo completo) o “*Random width*” (láminas cortadas, fracciones de un paño completo).

### 7.2.5 Secado

Por las características del secador de la empresa no fue posible alterar las condiciones de secado. Se aplicaron las temperaturas y tiempos normales para el espesor 2,5 mm cuando se secan láminas de Pino radiata. La temperatura máxima fue de 180°C con un tiempo total de 12 min. El secador posee un equipo de transporte por rodillos.

Las láminas se secaron separadas por posición de troza, tipo de macerado y por espesor. A la salida del secador se registraron: contenido de humedad, aparición de grietas u otros defectos y la contracción transversal.

En este punto se pretendía controlar el número de láminas enteras (“*Full sheet*”) y fracciones (“*Random width*”) obtenidas. Finalmente, las láminas deberían ser clasificadas de acuerdo con las pautas de clasificación que emplea la empresa, en caras, trascaras, interior y “random”.

Con las variables consideradas el esquema general del ensayo quedó como se presenta en la Figura 94.

### 7.2.6 Fabricación y propiedades de los tableros

Con las láminas obtenidas se fabricaron tableros para exteriores utilizando adhesivo Fenolformaldehído, producido por OXIQUM S.A. y para tableros de interior se empleó Ureaformaldehído de la misma empresa.

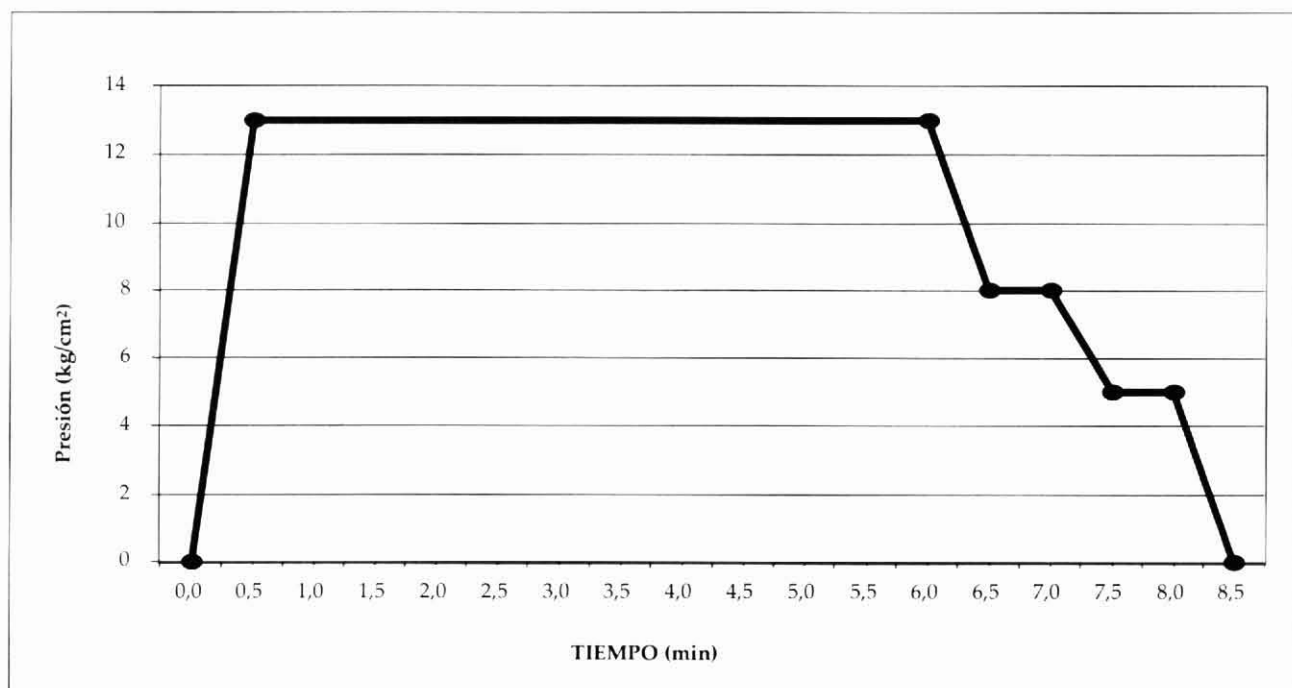
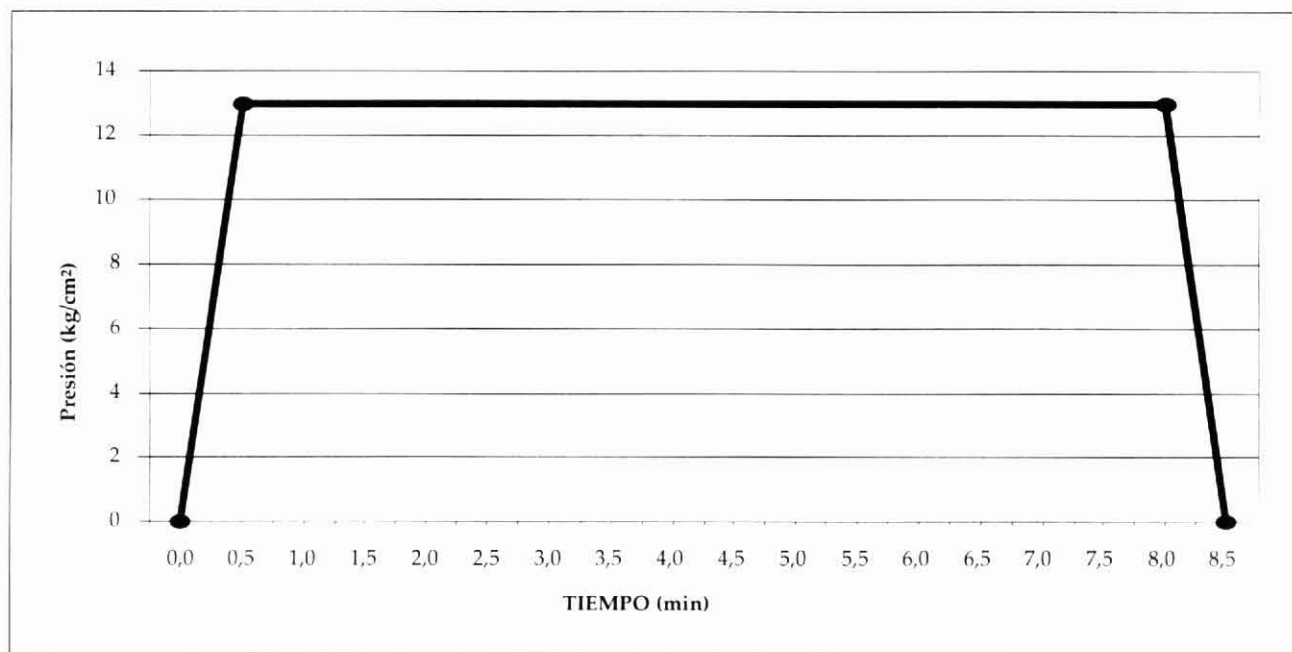
Los tableros se fabricaron con 5 láminas, del tipo estructural.

Para cada tipo de tablero se realizaron ensayos considerando variaciones en el contenido de adhesivo, hasta encontrar el gramaje óptimo. Una vez determinadas las mejores condiciones de fabricación, se prensaron 8 tableros para cortar las probetas de ensayo.

Las condiciones de prensado aplicadas fueron:

- Temperatura de los platos: 110°C para Ureaformaldehído, 145°C para Fenolformaldehído.
- Factor Tiempo: 0,5 min/mm.
- Presión: 13 kg/cm<sup>2</sup>

Los diagramas de prensado se diseñaron teniendo en cuenta el tipo de adhesivo, las condiciones de tiempo y temperatura en la prensa, y quedaron como se presenta en la Figura 95. Los diagramas propuestos se aplicaron en pre ensayos y se ajustaron para dar las condiciones definitivas.



**FIGURA 95**  
**DIAGRAMAS DE PRENSADO (ARRIBA PARA UREAFORMALDEHIDO; ABAJO PARA**  
**FENOLFORMALDEHIDO)**

Para verificar la calidad de los tableros se realizaron observaciones cualitativas generales respecto al encolado y al prensado. Los tableros se evaluaron considerando las siguientes pruebas y normas:

- Cizalle y Adhesión Norma europea EN 314
- Flexión (MOR; MOE) Norma europea EN 310
- Densidad

**Cizalle y adhesión.** La determinación y evaluación de la calidad de las uniones entre láminas se llevó a cabo de acuerdo con las normas EN 314-1 y 314-2.

Para calificar las muestras se tuvo en cuenta lo dispuesto por la norma, válido para cada línea de cola ensayada, y que se detalla en la Tabla 72.

**TABLA 72**  
**EXIGENCIAS COMBINADAS DE CIZALLE Y ADHESION**

| Promedio Cizalle (f)<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Promedio de Adhesión<br>(%) |
|----------------------------------------------|-----------------------------|
| 0,2 ≤ f < 0,4                                | ≥ 80                        |
| 0,4 ≤ f < 0,6                                | ≥ 60                        |
| 0,6 ≤ f < 1,0                                | ≥ 40                        |
| 1,0 ≤ f                                      | Sin requerimiento           |

En la Tabla 72 se observa que una probeta que tiene un valor bajo en resistencia, puede aprobar si su adhesión es alta.

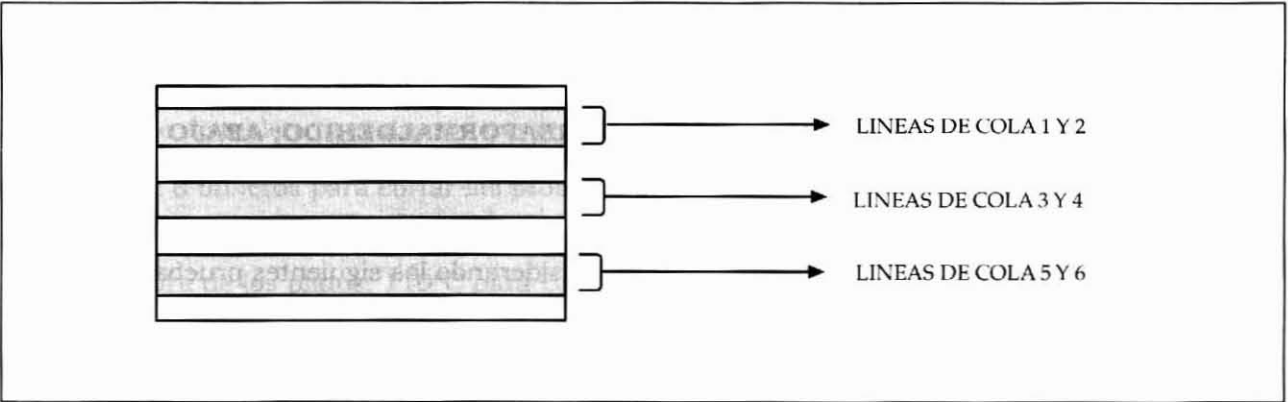
Las probetas tenían un largo total de 135 ± 0,2 mm de largo, en la dirección de las fibras de las caras, y 25 ± 0,1 mm de ancho. Las probetas se tomaron considerando las uniones de los diferentes planos de encolado, líneas de cola, tal como lo indica la norma (Figura 96).

El tratamiento de envejecimiento acelerado correspondió a lo especificado por la norma, siguiendo el esquema de la Tabla 73.

Tal como lo indica la norma, las resistencias y adhesiones se han medido por línea de cola. Estas han sido numeradas considerando la estructura del tablero, tal como se indica en la Figura 96.

**TABLA 73**  
**TRATAMIENTOS A APLICAR POR TABLERO**

| Tipo de tablero                                 | 24 h H <sub>2</sub> O a 20°C | 72 h H <sub>2</sub> O a 100°C<br>1 h H <sub>2</sub> O a 20°C |
|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Interiores secos<br>(Urea formaldehído)         | SI                           |                                                              |
| Exteriores no cubiertos<br>(Fenol formaldehído) | SI                           | SI                                                           |



**FIGURA 96**  
**ESTRUCTURA DE LOS TABLEROS Y LÍNEAS DE COLA**



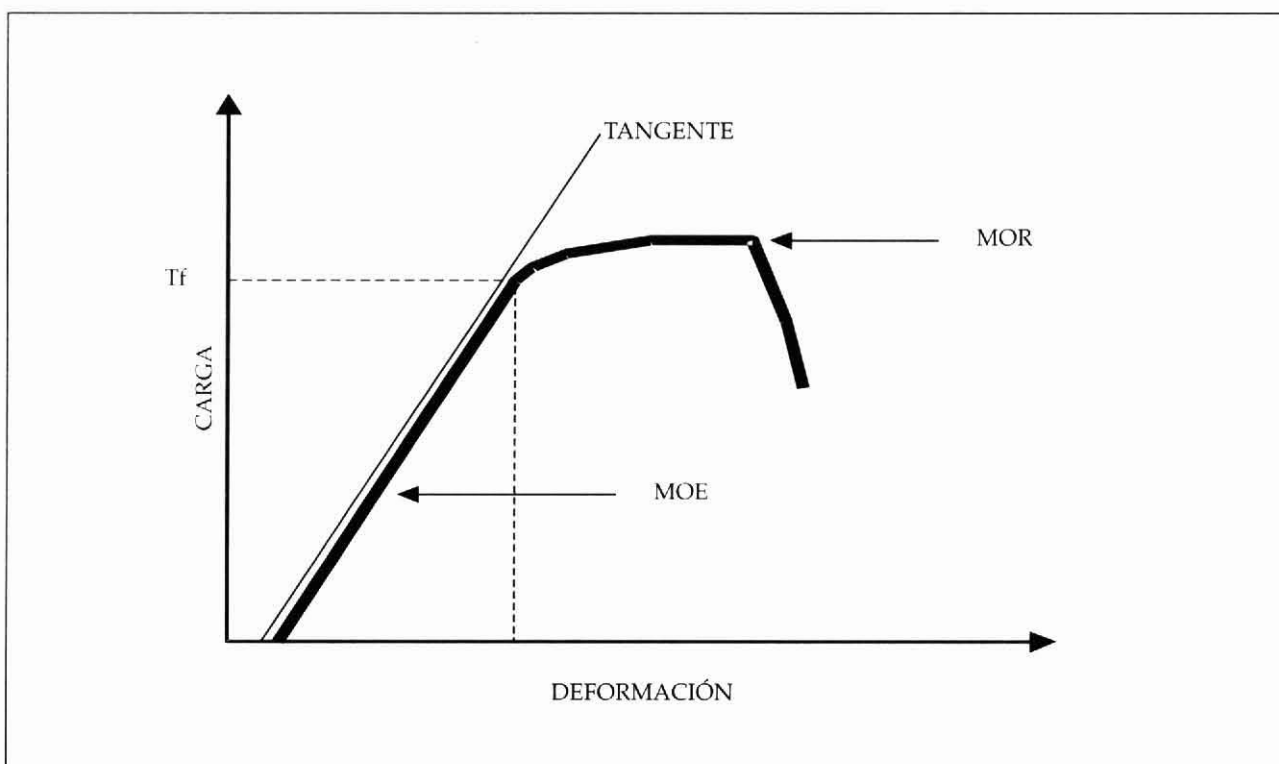
**Flexión: Módulo de Rotura (MOR) y de Elasticidad (MOE).** El ensayo de Flexión se realizó de acuerdo con la norma europea EN 310.

El ensayo consideró la determinación del Módulo de Rotura (MOR: máxima resistencia de la probeta), el Módulo de Elasticidad (MOE: relación entre carga y deformación en el campo elástico).

Para aclarar los conceptos anteriores se ha preparado el esquema de la Figura 97.

La resistencia que opone la probeta a la carga se desarrolla tal como lo muestra la línea más gruesa del esquema. En una primera fase la deformación de la probeta es directamente proporcional al aumento de la carga, generándose una recta. En esta fase el material se encuentra en el campo elástico y con la relación carga y deformación se calcula el módulo de elasticidad (MOE).

Posteriormente se pierde la proporcionalidad de carga y deformación, el ensayo (probeta) sale del campo elástico y las deformaciones ya no son “recuperables”. La carga aplicada en el punto en que se cambia de campo se define como carga en el límite del campo elástico (simbolizada como Tf). Finalmente la probeta alcanza su máxima resistencia y se rompe (MOR).



**FIGURA 97**  
**ESQUEMA DEL ENSAYO DE FLEXIÓN**

**Densidad.** La determinación de la densidad se efectuó por medio de la relación entre masa y volumen, empleando para ello probetas climatizadas a 65% de humedad relativa con 20°C.

## 7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.3.1 Recepción, observaciones y mediciones en cancha.

Las trozas procesadas en el ensayo fueron obtenidas de árboles anillados con aproximadamente 30 días de anticipación. El anillado tenía un ancho de 20 cm en la base de la primera troza (Figura 98). Las trozas fueron recibidas en el patio industrial y se acancharon bajo riego por aspersión por dos semanas (Figura 99).

Al momento de corroborar los largos y diámetros se muestrearon rodela de 4 trozas para determinar la densidad básica (peso seco / volumen saturado). Dos de estas rodela se obtuvieron de los extremos y una del centro (ver Figura 100).

Posteriormente se separaron las trozas en dos paquetes de 20 trozas cada uno, para macerar por el método de cocción por 6 y 10 horas. Cada uno de estos paquetes contenía 10 trozas de cada edad.

El examen inicial de las trozas en cancha permitió verificar que se encontraban en buen estado, con poca presencia de grietas o fisuras. En general el aspecto externo de las trozas era muy superior al de las empleadas en los ensayos anteriores (Poblete, 2002).



**FIGURA 98**  
**MUESTRA DEL ANILLADO**



**FIGURA 99**  
**TROZAS EN CANCHA**





**FIGURA 100**  
**TROZA SECCIONADA PARA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD**

Durante la permanencia de las trozas en cancha se corroboraron las mediciones que se habían realizado en la faena de volteo, midiéndose los diámetros JAS, el largo de troza, la cantidad y el diámetro de los nudos, la frecuencia y magnitud de las grietas y se registraron las observaciones que se consideraron importantes.

Respecto de las observaciones y mediciones de nudos, se puede concluir que los nudos medidos son similares a los encontrados en estudios anteriores. Se trata de una cantidad importante de nudos pequeños, con un diámetro promedio de 1,5 cm.

#### **Densidad básica**

Los resultados de la determinación de la densidad en las rodela extraídas de 4 trozas (12 rodela en total) se presentan en la Tabla 74.

**TABLA 74**  
**DENSIDAD BÁSICA (g/cm<sup>3</sup>)**

| <b>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Externa</b> | <b>Interna</b> |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|
| Promedio                                  | 0,50           | 0,42           |
| Máximo                                    | 0,54           | 0,52           |
| Mínimo                                    | 0,41           | 0,38           |
| Desviación estándar                       | 0,04           | 0,04           |
| Coefficiente variación                    | 8,25           | 9,82           |

Los valores presentados corresponden al promedio de todas las probetas tomadas en la zona externa de las rodela y en la zona interna de las rodela.



Se pudo determinar que no existen diferencias importantes en las densidades de las rodela de las diferentes trozas. Tanto la desviación estándar como el coeficiente de variación son relativamente bajos y similares entre las zonas estudiadas de la rodela.

Como era de esperar, en la parte externa de las rodela se registra una densidad mayor. Debido a que sólo se tomaron dos probetas (una al centro y otra en la periferia), no se pudo determinar cómo cambia la densidad en sentido radial. Esto es un punto interesante a estudiar en el futuro.

Los valores de densidad obtenidos son óptimos para la producción de láminas por debobinado.

Los contenidos de humedad varían desde la periferia del trozo, con 131%, hacia la parte central, que presenta un 123%.

### 7.3.2 Observaciones y registros en el macerado

La empresa no lleva un control de la tasa de aumento de la temperatura. La temperatura del agua se fijó en 70°C y los tiempos de macerado se fijaron en 10 y 6 horas.

En la Figura 101 se presenta una troza de *Eucalyptus nitens* saliendo del proceso de macerado.



**FIGURA 101**  
**TROZA DE *Eucalyptus nitens* SALIENDO DEL MACERADO**

Durante el debobinado se midió la temperatura interna de los trozos, al momento de lograr el redondeo o diámetro del cilindro perfecto y en la periferia del rollete residual. Lo anterior se efectuó mediante un termómetro infrarrojo.

El control de la temperatura de los rolletes residuales mostró diferencias entre los tratamientos de 10 y 6 horas. Estos resultados se presentan en la Tabla 75.

Los rolletes de las trozas tratadas durante 6 horas presentaban temperaturas menores que los tratados por 10 horas.

En general se apreció que los trozos tratados por 10 horas se dejaban cortar con mayor facilidad y entregaban láminas más lisas.

**TABLA 75**  
**TEMPERATURA DE LOS ROLLETES RESIDUALES**

| <b>Macerado (h)</b> | <b>Temp-Periferia (°C)</b> | <b>Temp-Rollete (°C)</b> |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| 10                  | 48,2                       | 44,5                     |
| 6                   | 44,7                       | 36,4                     |

### 7.3.3 Mediciones durante y después del debobinado

En general las trozas de mayor edad y podadas presentaban un muy buen aspecto, cilíndricas, libres de defectos (Figura 102).



**FIGURA 102**  
**TROZAS ANTES Y DURANTE EL DEBOBINADO**

En la Figura 103 se aprecia a la salida del torno la cinta de lámina de madera en perfectas condiciones. En la Figura 104 se presentan láminas de calidad superior (full-caras) obtenidas en trozos de 21 años. En estas trozas se pudo determinar que **un 60% de las láminas full correspondía a láminas aptas para caras de tablero.**

En la Figura 105 se presenta el aspecto típico de las láminas obtenidas de trozas no podadas, con un gran número de nudos de diámetro pequeño distribuidos uniformemente en la superficie.



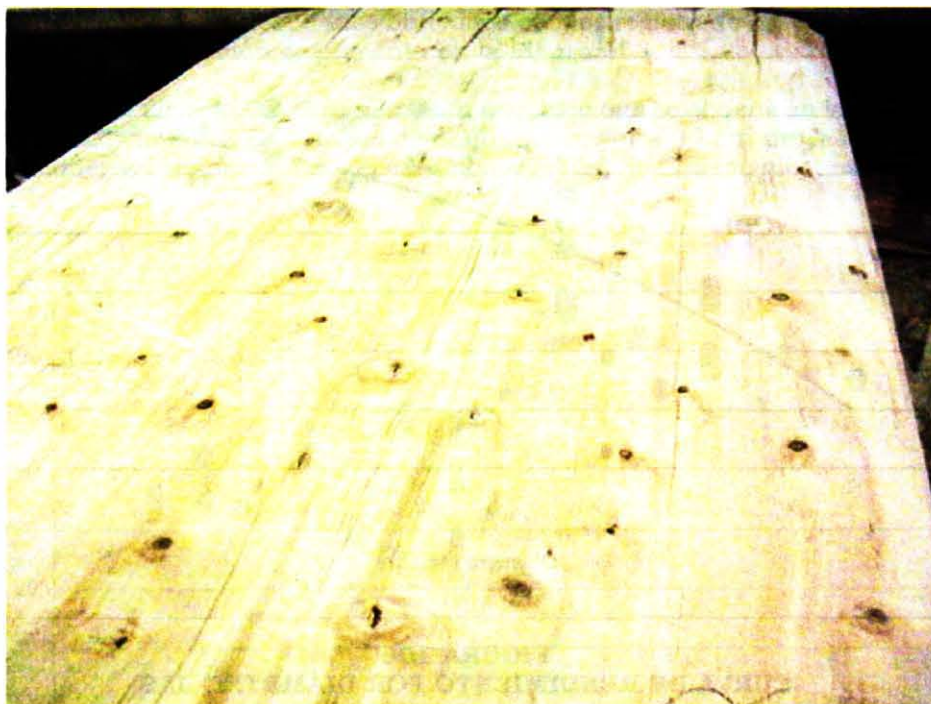


**FIGURA 103**  
**CINTA DE LAMINA A LA SALIDA DEL TORNO**



**FIGURA 104**  
**LÁMINAS FULL APTAS PARA CARAS DE TABLERO**





**FIGURA 105**  
**LÁMINAS CON NUDOSIDAD PEQUEÑA Y DIFUSA**

Aparte de los ejemplos mostrados en las Figuras 104 y 105, también se presentaron algunas trozas con nudos de tamaño mayor a 5 cm. En este caso se trataba de segundas trozas de la edad 12 años. En este caso se detectó la presencia de una coloración amarilla que puede ser atribuida a una exudación de resina o a un ataque de hongos.

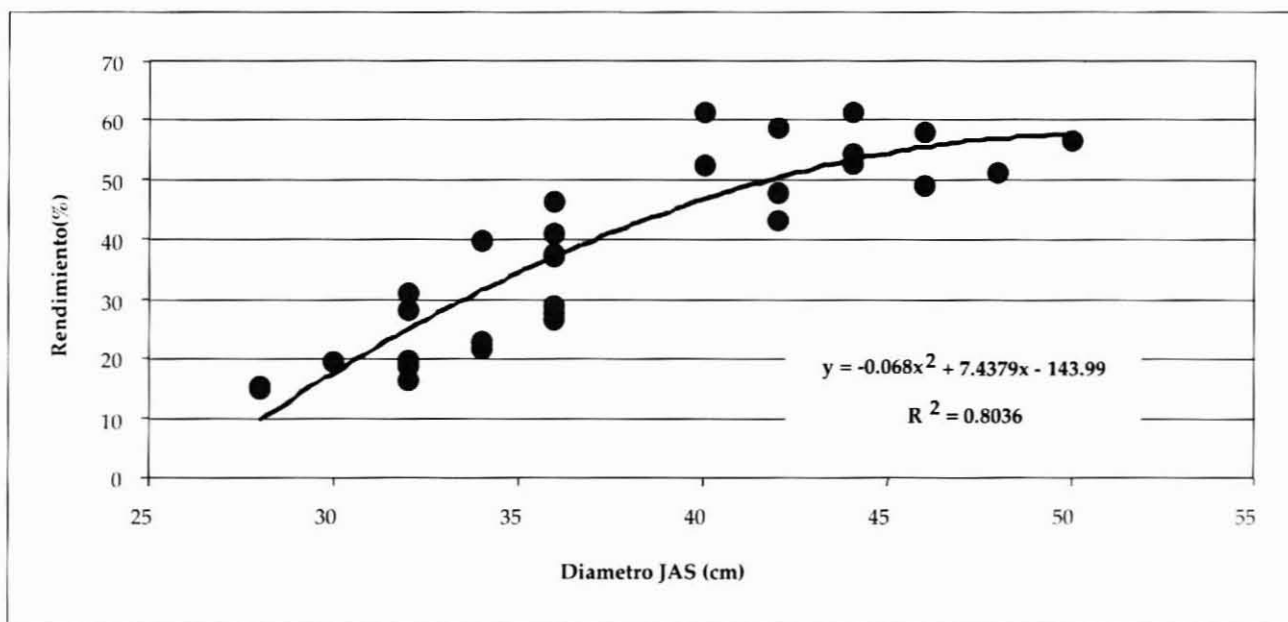
Como se mencionara anteriormente, se pudo observar que resulta **más fácil debobinar las trozas que han sido tratadas con 10 horas** de macerado.

Al comparar el debobinado de trozas de 21 años con las de 12 años, no se detectaron diferencias importantes en la facilidad de debobinado.

Los consumos de energía del equipo fueron los normales que se registran para especies nativas.

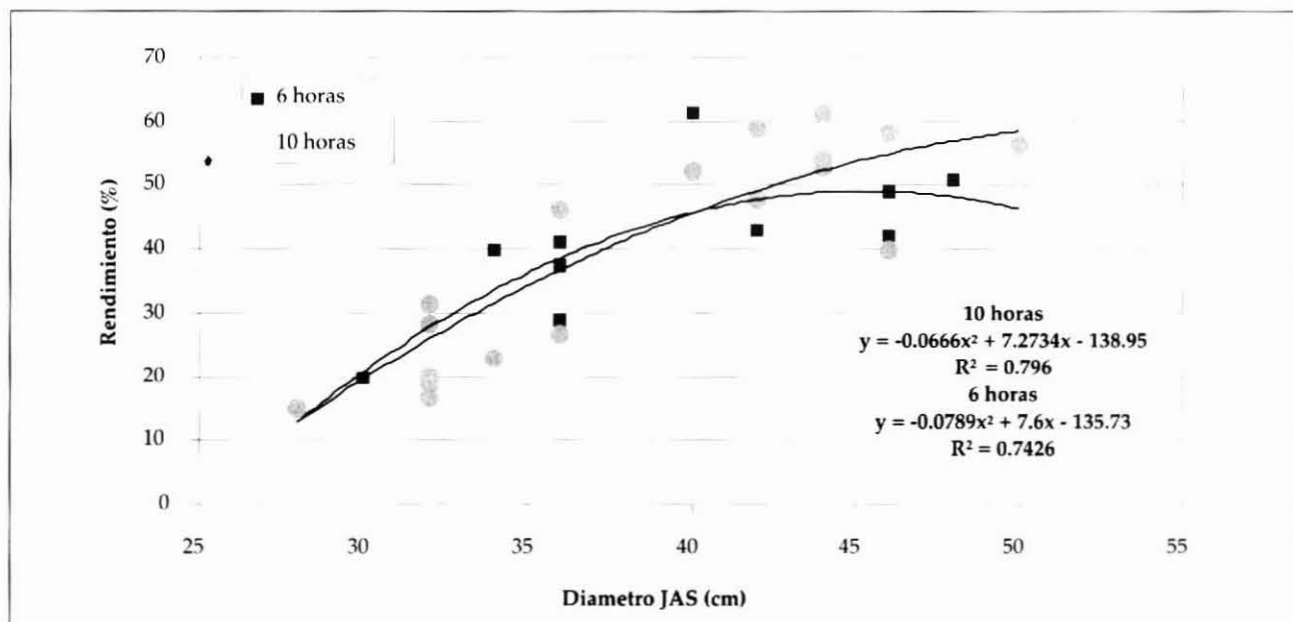
En la Figura 106 se presenta la tendencia general de todas las trozas procesadas. La curva obtenida presenta la forma de una parábola donde el rendimiento es dependiente del diámetro de la troza. De esta forma las trozas de mayor edad, mayor diámetro, registran rendimientos más altos.

Para ajustar esta curva se eliminaron de la muestra aquellos trozos que no pudieron ser debobinados completamente y que dejaron rolletes de diámetro mayor a 18 cm. La eliminación de estos trozos se realizó considerando que con un manejo adecuado no debería darse este problema.



**FIGURA 106**  
**CURVA DE RENDIMIENTO POR DIÁMETRO JAS**

Si el grupo de datos presentado en la Figura 106 se divide en dos, aquellos tratados con 6 horas de macerado y los tratados con 10 horas, se obtiene la gráfica presentada en la Figura 107.

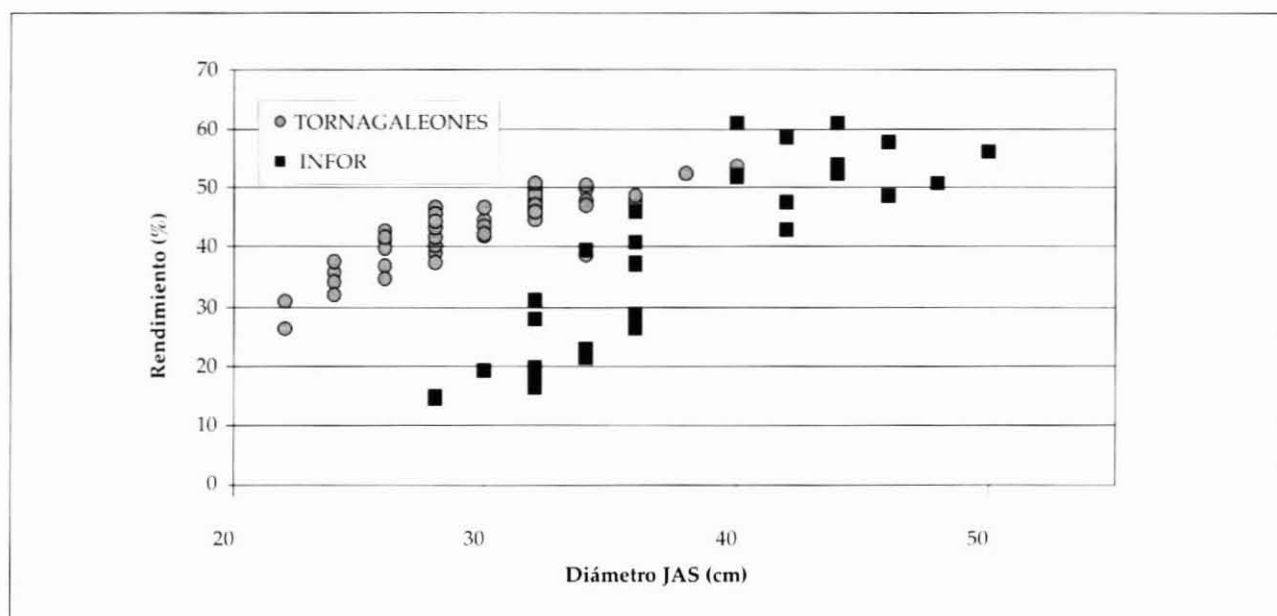


**FIGURA 107**  
**RENDIMIENTO POR DIÁMETRO SEGÚN EL TRATAMIENTO DE MACERADO**

En la Figura 107 se puede apreciar una clara diferencia entre los tratamientos hacia el final de las curvas, con los diámetros más grandes, éstas se separan. En este caso se está reflejando la menor temperatura del rollete residual, la que incide en el rendimiento.

Interesante resulta comparar los resultados obtenidos con los registrados en una experiencia anterior (Poblete, 2002). Esta comparación se presenta en la Figura 108.

Se destaca además en la Figura 108, el rendimiento más bajo que se obtiene en la presente experiencia en las trozas de menor tamaño. Las trozas de diámetro mayor a 35 cm procesadas en este ensayo se ajustan a la tendencia encontrada en el estudio denominado “Tornagaleones”.



**FIGURA 108**

**COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA EXPERIENCIA REALIZADA EN LA EMPRESA TORNAGALEONES (POBLETE, 2002)**

La explicación a este hecho puede deberse a un redondeo menos exacto, el corte de la cinta de madera durante el transporte (el sistema empleado en este caso provoca este daño) y el guillotinado manual (en la experiencia anterior se realizó el guillotinado en forma automática luego de una lectura con escáner).

En resumen, el nivel de tecnología que se aplica tiene un efecto importante sobre el rendimiento de las trozas de menor tamaño.

#### 7.3.4 Mediciones después del secado

El secado de las láminas se efectuó de acuerdo con las condiciones de secado que aplica la industria a láminas de Pino Radiata de las mismas dimensiones (180°C por 12 minutos).

Durante el secado se pudo verificar que las **contracciones perpendiculares a la dirección de las fibras** alcanza a un 15% del ancho inicial. Esto significa que las láminas se reducen en promedio de 1,4 m de ancho a 1,28 m. Este porcentaje de contracción es mayor al que la empresa registra para pino radiata.

También se pudo observar que las condiciones de secado que se estaban aplicando provocaban el colapso y agrietamiento de las láminas. Por este motivo se optó por acelerar el paso y salvar la calidad de las láminas.

Al recopilar experiencias de otras plantas se pudo obtener información de la empresa INBOSA S.A. que ha debobinado y secado *Eucalyptus nitens* con temperaturas máximas de 120°C, obteniendo buenos resultados.



### 7.3.5 Fabricación y control de los tableros

#### 7.3.5.1 Tableros para interiores, con Ureaformaldehído

La mezcla de adhesivo empleada fue una solución de Ureaformaldehído al 60% (Ademix 2009 de Oxiquim S.A.). Este adhesivo viene preparado y sólo fue necesario agregar  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en un 1% como catalizador en estado sólido.

Durante el encolado se aplicaron tres dosificaciones de la mezcla de adhesivo,  $190 \text{ g/m}^2$ ,  $205 \text{ g/m}^2$  y  $220 \text{ g/m}^2$ .

El esparcido del adhesivo sobre las láminas de *Eucalyptus nitens* se realizó sin problemas. Para este proceso y el del prensado se respetaron los tiempos que normalmente transcurren durante el manejo del material en la industria. De acuerdo con lo anterior, luego del encolado se dejó reposar un grupo de láminas encoladas por 5 min hasta entrar a un pre prensado sin temperatura de  $6 \text{ kg/cm}^2$  por 10 min. Luego del pre prensado se volvió a un periodo de reposo, para finalizar con el prensado con temperatura.

Las condiciones de prensado se ajustaron partiendo del diagrama propuesto en la metodología. Luego de realizar pre ensayos, se determinó que las condiciones del tablero y del prensado serían las siguientes:

Número de Láminas : 5  
Espesor de láminas : 2,5 mm  
Presión :  $15 \text{ kg/cm}^2$   
Tiempo total : 10 min  
Temperatura :  $110^\circ\text{C}$

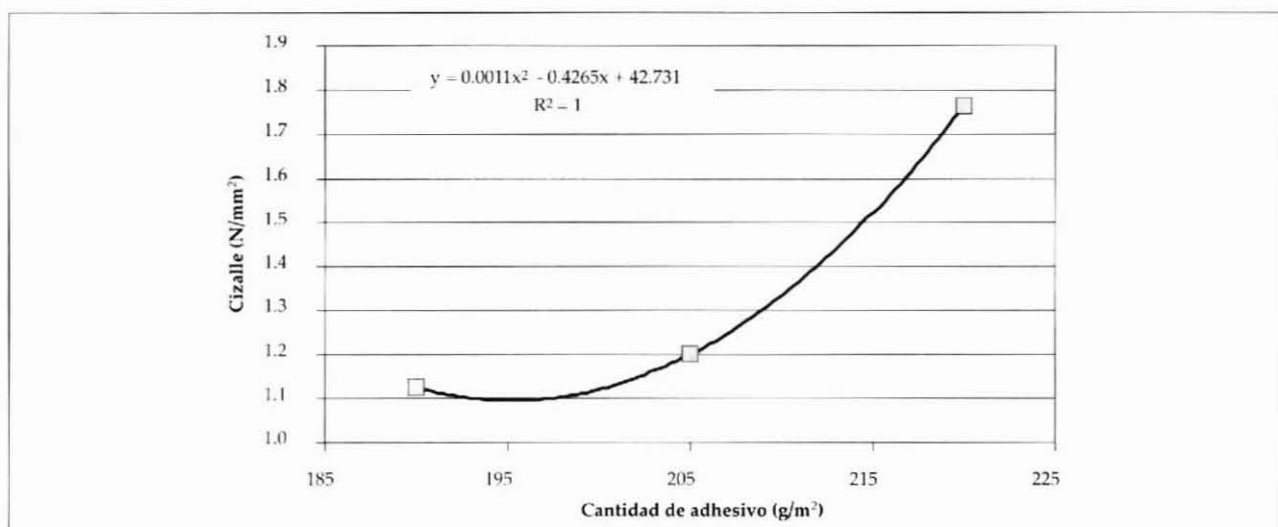
La presión se mantuvo constante hasta el final del proceso.

A los tableros fabricados se les controlaron la calidad de las uniones obtenidas (Cizalle y adhesión) y la resistencia a la flexión (MOR y MOE).

#### Cizalle

En la Figura 109 se presentan los valores promedio de la resistencia al cizalle obtenidos para las tres dosificaciones de adhesivo.

Es destacable que los altos valores de cizalle obtenidos permiten aprobar la norma aún si se ocasionasen despegamientos con adhesiones “cero”.



**FIGURA 109**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE LA RESISTENCIA AL CIZALLE**  
**EN TABLEROS CON UREAFORMALDEHIDO**

Se observa en la Figura 109 que a medida que se aumenta la cantidad de adhesivo mejora la resistencia de las uniones.

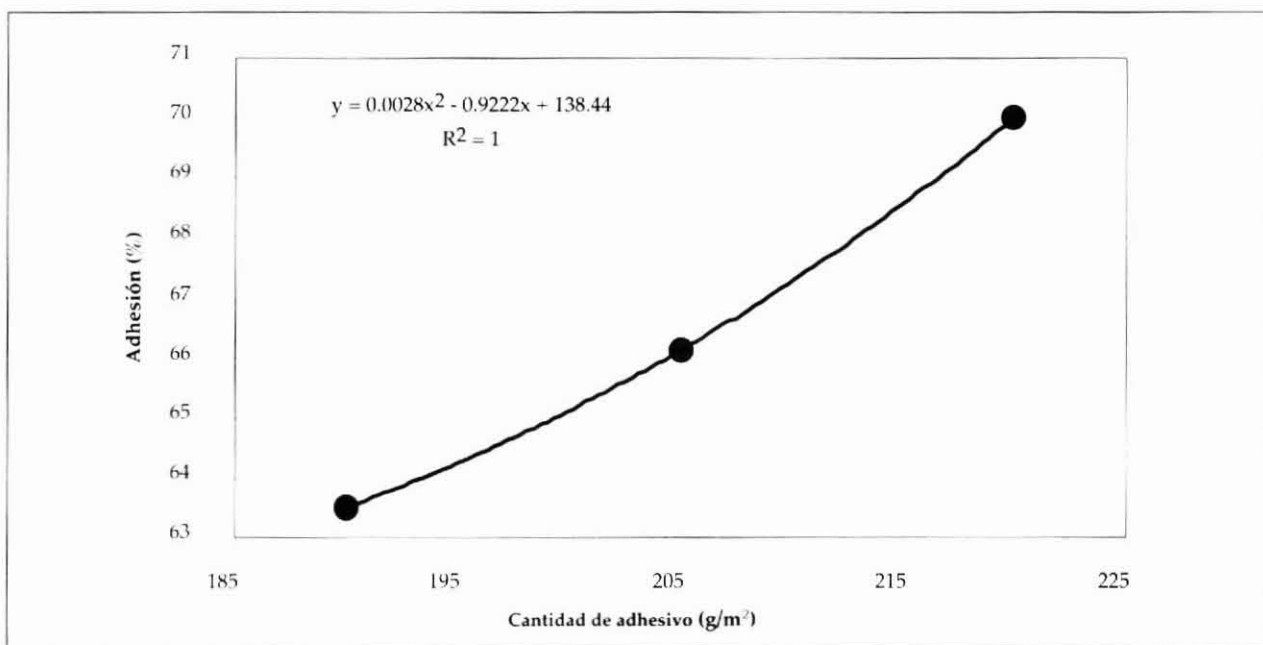
### Adhesión

Cuando se midieron las superficies de madera que quedan a la vista en el plano de fractura de las probetas, adhesión, se pudo calcular los promedios que se presentan en la Figura 110.

En la Figura 110 se presenta una tendencia clara a aumentar los valores de adhesión con el aumento de la cantidad de adhesivo. La tendencia es idéntica a la registrada con los valores de la resistencia al cizalle, por lo que se puede concluir que, con las condiciones aplicadas, una dosificación de 220 g/m<sup>2</sup> da los mejores resultados.

En general, los tableros producidos tienen resistencias similares a los que normalmente se obtienen con maderas latifoliadas nativas y las adhesiones son superiores a las registradas en controles a nativas.

Todos los tableros estudiados cumplen con las exigencias de la norma EN 314.



**FIGURA 110**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE LA ADHESIÓN EN TABLEROS CON UREA FORMALDEHIDO**

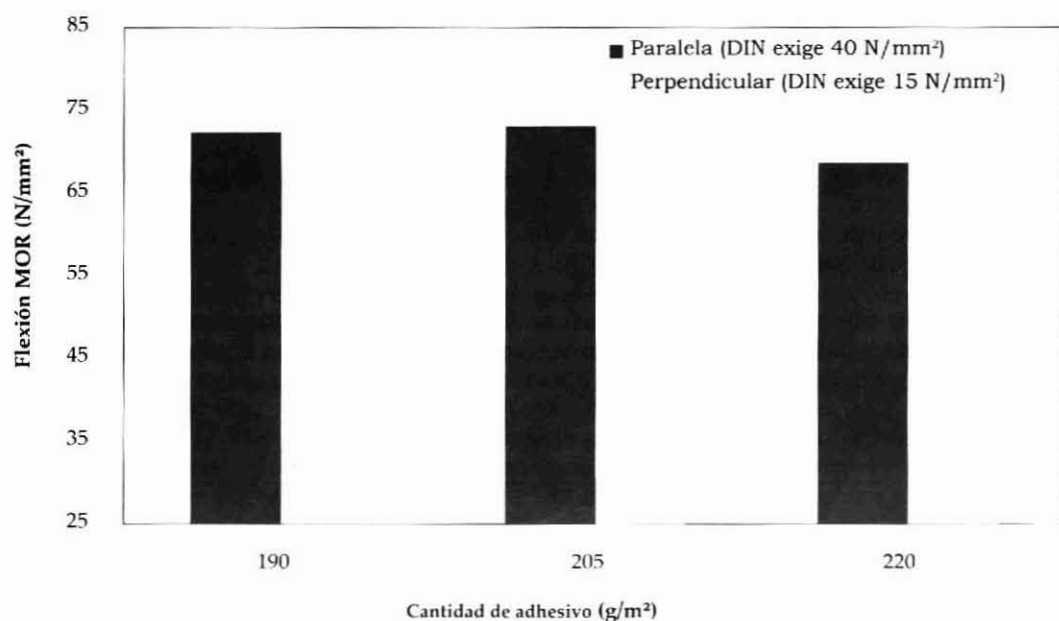
### Flexión

En cuanto a las resistencias a la flexión, los tableros fabricados con ureaformaldehido con tres cantidades de adhesivo diferentes superan la exigencias de la norma, tanto para el sentido perpendicular como paralelo a las fibras.

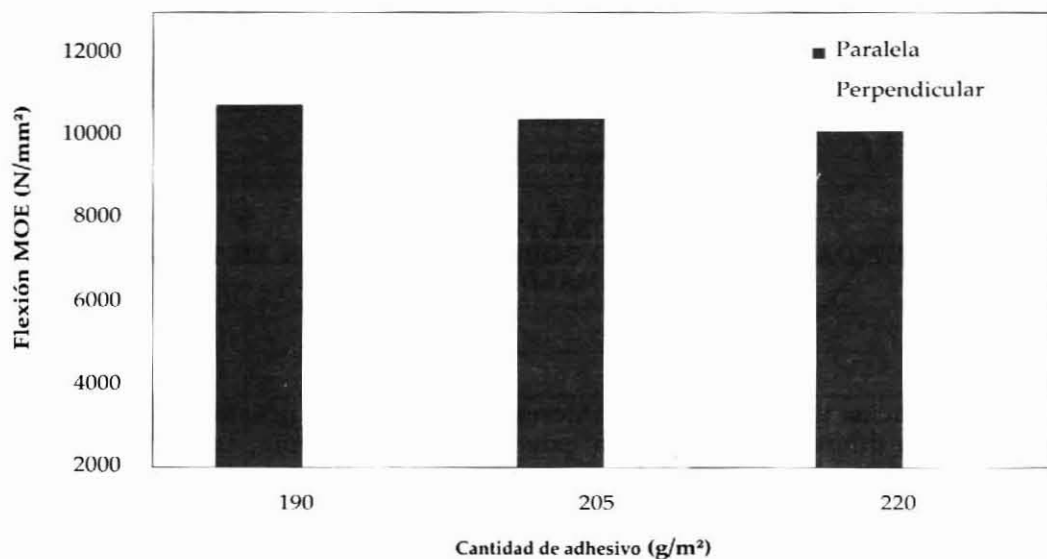
Los promedios por tipo de esparcido se presentan en la Figura 111.

Se observa además en la Figura 111, que para cumplir con la exigencia de la norma DIN (40 N/mm<sup>2</sup> en paralelo y 15 N/mm<sup>2</sup> en perpendicular) basta con aplicar la menor cantidad de adhesivo ensayada. Cabe destacar que al aumentar la dosificación de adhesivo hasta 220 g/m<sup>2</sup> se provoca un descenso en la resistencia, lo que debe estar asociado al exceso de humedad que se genera en la línea de cola durante el prensado.

Una situación similar se presenta en la Figura 112 con los valores del módulo de elasticidad (MOE).



**FIGURA 111**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE LA FLEXIÓN (MOR) EN TABLEROS CON UREA FORMALDEHIDO**



**FIGURA 112**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE LA FLEXIÓN (MOE) EN TABLEROS CON UREA FORMALDEHIDO**



#### 7.3.5.2 Tableros para exteriores, con Fenolformaldehido

El adhesivo aplicado fue un “ready mix”, Oximix 2200 de Oxiquim S.A. Considerando que las condiciones de uso de este adhesivo son más estrictas que las de los adhesivos basados en Ureaformaldehido, se aplicó en cinco dosificaciones, 175 g/m<sup>2</sup>, 181 g/m<sup>2</sup>, 189 g/m<sup>2</sup>, 194 g/m<sup>2</sup> y 217 g/m<sup>2</sup>.

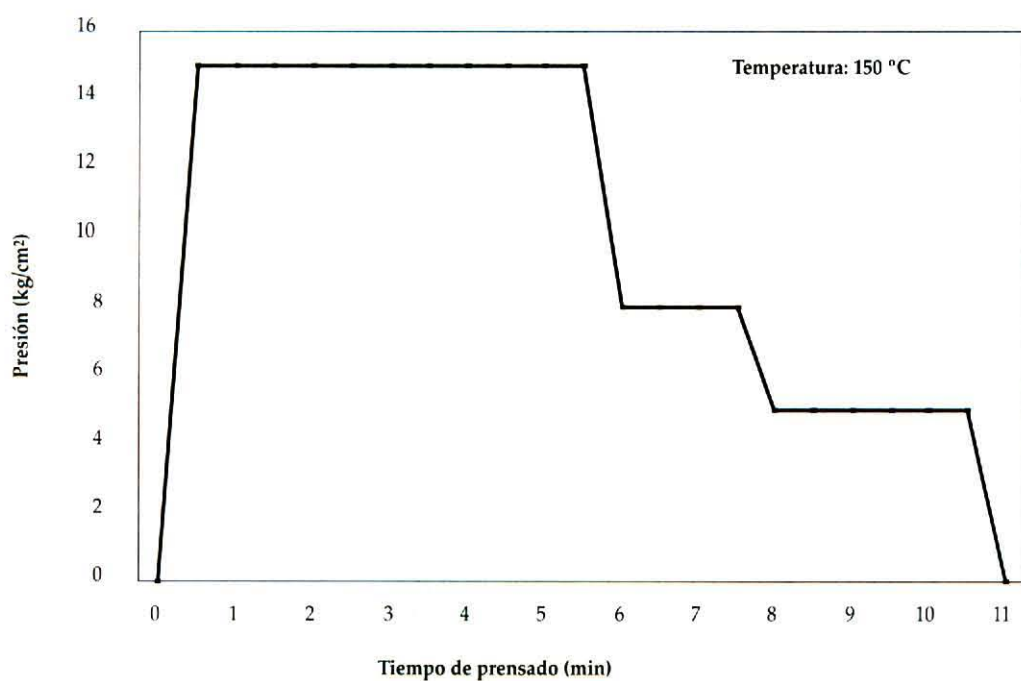
En la Figura 113 se aprecia que la distribución del adhesivo se pudo efectuar sin dificultades. Las láminas de *Eucalyptus nitens* se dejan encolar con la misma facilidad que otras especies.

Para determinar las condiciones finales del prensado se contó con la colaboración de técnicos del fabricante del adhesivo. Luego de ajustar en pre ensayos la temperatura (130°C) y la presión (15 kg/cm<sup>2</sup>), se determinó aplicar el diagrama de prensado que se entrega en la Figura 114.

Con las condiciones señaladas y manteniendo la disminución escalonada de la presión, se obtuvo el diagrama de prensado de la Figura 114. En la Figura 115 se presentan tableros a la entrada de la prensa.



**FIGURA 113**  
**LÁMINAS DE *Eucalyptus nitens* DURANTE EL ENCOLADO**



**FIGURA 114**  
**DIAGRAMA DE PRENSADO DEFINITIVO PARA TABLEROS FENÓLICOS**

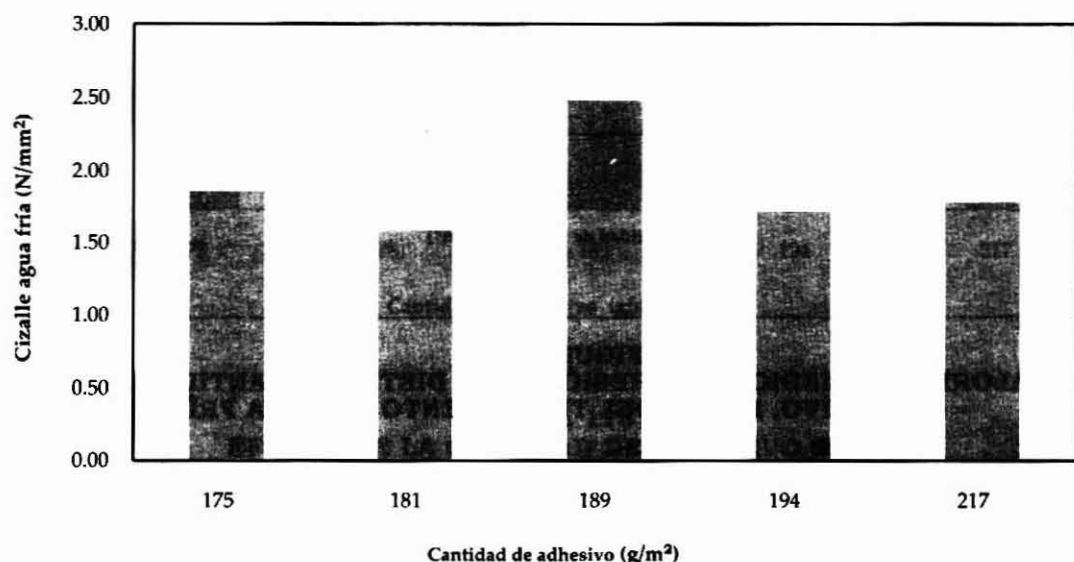


**FIGURA 115**  
**TABLEROS EN LA PRENSA**

### Cizalle en agua fría

La resistencia de las uniones al esfuerzo de cizalle, en relación con la cantidad de adhesivo esparcido se presenta en la Figura 116, en donde se aprecia que ésta no muestra una relación clara con la variación del contenido de adhesivo. Es destacable el valor de resistencia alcanzado con un esparcido de 189 g/m<sup>2</sup>.

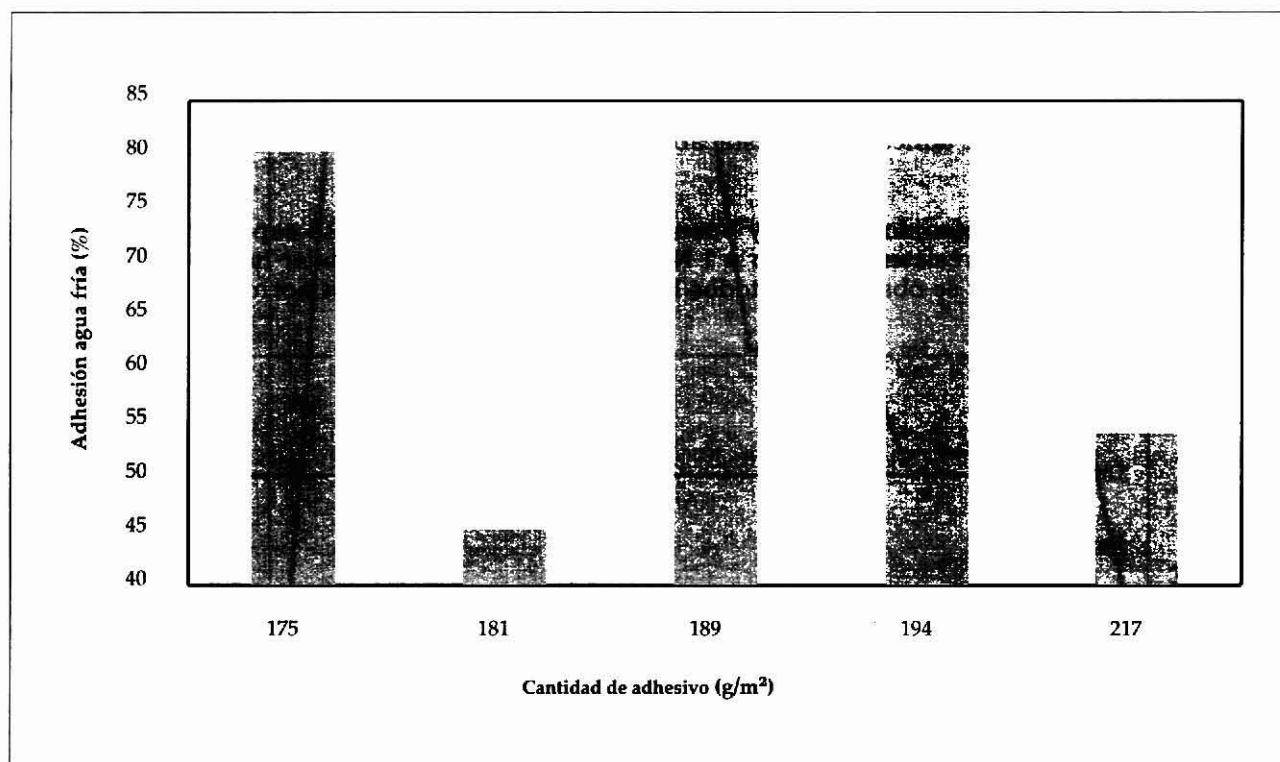
En general los valores obtenidos son muy buenos, ya que la norma EN 314 especifica que cuando un tablero presenta una resistencia mayor a 1 N/mm<sup>2</sup> la adhesión puede bajar hasta 0% (Tabla 72). Considerando lo anterior se observa que todos los tableros cumplen con la norma.



**FIGURA 116**  
**RELACIÓN DE CIZALLE CON CANTIDAD DE ADHESIVO LUEGO DEL**  
**TRATAMIENTO EN AGUA FRÍA**

Cuando se analiza la resistencia al cizalle la norma europea obliga a examinar la cantidad de madera y de línea de cola que queda a la vista en el plano de cizalle. Este valor se conoce como adhesión y se presenta, para el tratamiento en agua fría, en la Figura 117.





**FIGURA 117**  
**VALORES PROMEDIO DE ADHESIÓN PARA DISTINTAS CANTIDADES DE**  
**ADHESIVO, LUEGO DEL TRATAMIENTO EN AGUA FRÍA**

Se observa además en la Figura 117, que no existen diferencias entre las adhesiones obtenidas con 175 g/m<sup>2</sup>, 189 g/m<sup>2</sup> y 194 g/m<sup>2</sup>.

Con 181 g/m<sup>2</sup> se registró el valor más bajo, lo que coincide con los resultados de cizalle. Se observó que en las líneas de cola 3 y 4 se presentaron los valores más bajos, lo que indica que podría corresponder a una falla del proceso más que a un problema relacionado con la cantidad de adhesivo.

En general se cuenta con valores de adhesión mayores a 45% lo que es bueno para las exigencias de la norma.

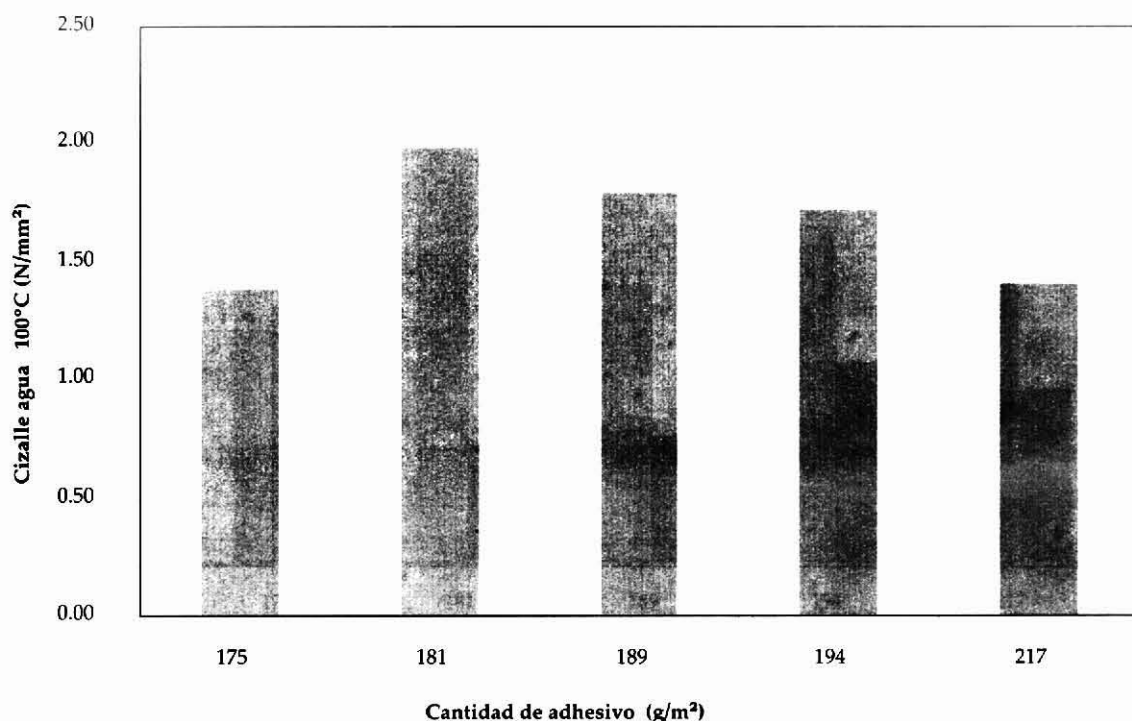
Por otra parte, en las dosificaciones 175 g/m<sup>2</sup>, 189 g/m<sup>2</sup> y 194 g/m<sup>2</sup> se alcanzan cifras de adhesión altas (> 80%). En estas dosificaciones, combinando con los valores de cizalle, se tienen tableros de óptima calidad. Si se comparan estas propiedades con las de latifoliadas nativas, se puede verificar que los tableros de *Eucalyptus nitens* se comportan como los de más alta calidad que se ofrecen en el mercado.

En general se puede aseverar que con un esparcido de 189 g/m<sup>2</sup> se logra la mejor combinación de cizalle y adhesión.

### **Cizalle en agua a 100°C**

En la Figura 118 se grafican los valores promedio de resistencia al cizalle obtenidos después de un tratamiento con agua a 100°C. Éstos demuestran que existe una tendencia a aumentar inicialmente para luego disminuir. Los mejores valores de cizalle se logran con cantidades de adhesivo entre 180 y 190 g/m<sup>2</sup>.

Los valores son inferiores a los registrados con el tratamiento con agua fría, sin embargo todos superan el límite impuesto por la norma, > 1 N/mm<sup>2</sup>, para aceptar adhesiones nulas.



**FIGURA 118**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE**  
**LA PROPIEDAD CIZALLE LUEGO DE UN TRATAMIENTO CON AGUA A 100°C**

Los resultados de adhesión, presentados en la Figura 119, muestran una tendencia más clara que la de los ensayos anteriores.

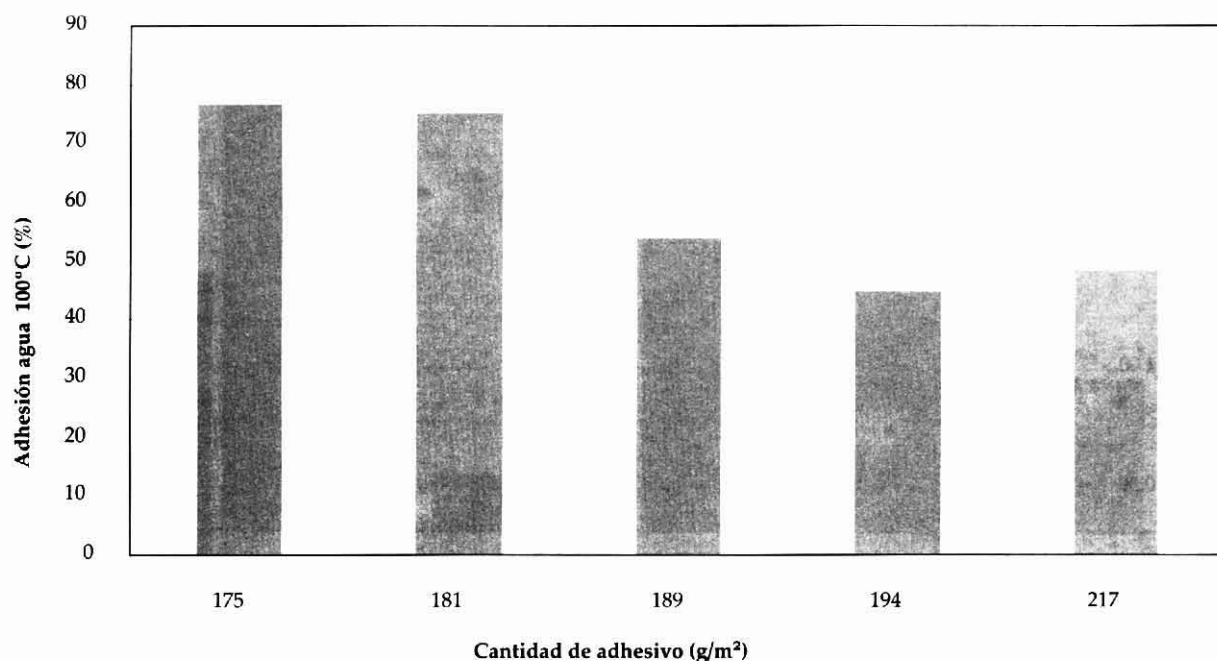
En este caso se observa una disminución de la adhesión a medida que aumenta la cantidad de adhesivo.

Esto puede deberse a que mientras más adhesivo se agrega, se aporta una cantidad mayor de agua a la línea de cola. Como los tiempos y temperatura de prensado permanecen sin alteración, la cantidad creciente de agua queda sin ser evacuada completamente. Por otra parte, al formar una línea de cola más gruesa se pierde parte de la calidad de la unión.

Pese a que la tendencia de la adhesión es a disminuir con el aumento de la cantidad de adhesivo esparcido, los valores registrados, mayores a 40%, permiten trabajar con resistencias al cizalle de hasta 0,6 N/mm<sup>2</sup> (Tabla 72).

La combinación de los valores de cizalle con los de adhesión permiten destacar como mejor opción la aplicación de 180 g/m<sup>2</sup>.

Si se tiene en cuenta los resultados de ambos ensayos, agua fría y a 100°C, se puede concluir que al fabricar contrachapados con *Eucalyptus nitens*, el aplicar adhesivo en cantidades entre 180 y 190 g/m<sup>2</sup> se obtienen las mejores resistencias de las uniones.



**FIGURA 119**  
**EFFECTO DE LA CANTIDAD DE ADHESIVO SOBRE**  
**LA ADHESIÓN AL TRATAR LAS PROBETAS CON AGUA A 100°C**

#### **Flexión, Módulo de Rotura (MOR) y de Elasticidad (MOE)**

En la Figura 120 se presentan los valores de MOR obtenidos con las cinco dosificaciones de adhesivo estudiadas.

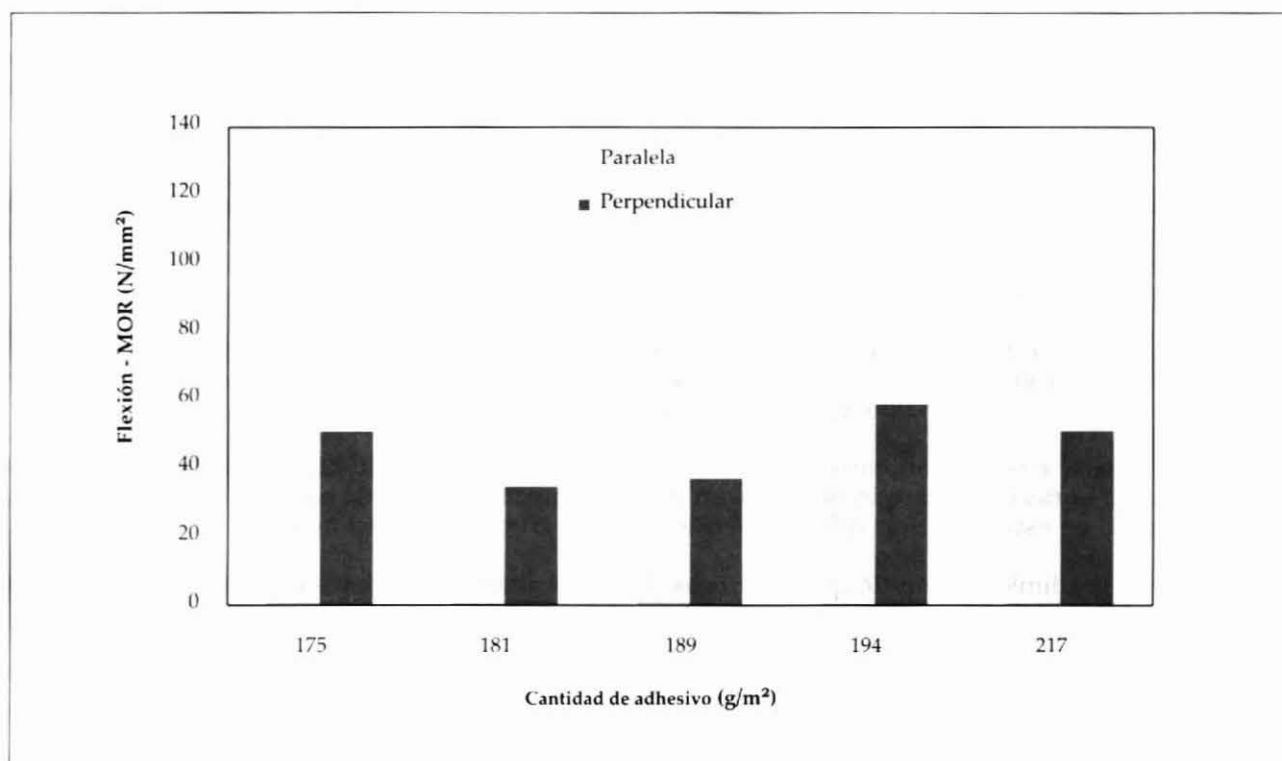
Al analizar el comportamiento de las resistencias a la flexión en el módulo de rotura, no se detectan tendencias claras respecto a un posible efecto de la cantidad de adhesivo.

Cabe destacar que todos los valores registrados son mayores a las exigencias de la norma DIN.

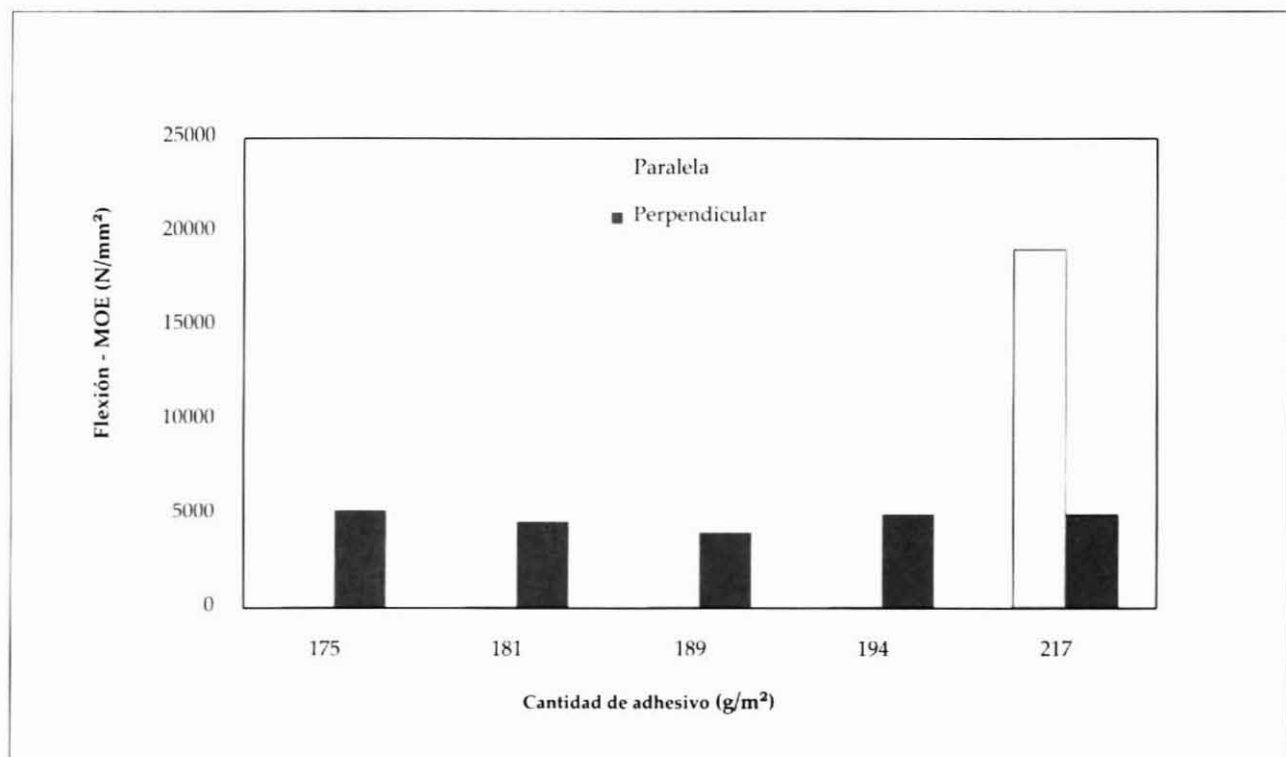
En controles paralelos a tableros de espesores equivalentes fabricados con especies latifoliadas nativas de 7 láminas, se determinó un MOR paralelo promedio de 79 N/mm<sup>2</sup> y perpendicular de 56 N/mm<sup>2</sup>.

Los promedios del MOE de las mismas muestras se presentan en la Figura 121.





**FIGURA 120**  
**FLEXIÓN - MÓDULO DE ROTURA (MOR) EN TABLEROS PARA EXTERIORES**



**FIGURA 121**  
**FLEXIÓN - MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) EN TABLEROS PARA EXTERIORES**

La situación en el caso del Módulo de Elasticidad es exactamente igual a la del MOR. No se detectan tendencias atribuibles a la cantidad de adhesivo. Los valores son adecuados y corresponden a los que se obtienen normalmente en tableros para exteriores fabricados con especies latifoliadas nativas.

## 7.4 CONCLUSIONES

Se procesaron 44 trozas de *Eucalyptus nitens* para la fabricación de láminas debobinadas y tableros contrachapados. La muestra representaba dos edades, 12 y 21 años. Las trozas de 21 años estaban podadas. Cada una de estas muestras se dividió en dos para ser tratadas con dos tiempos de macerado, 10 y 6 horas.

Las trozas recibidas habían sido tratadas con un anillado y con un sellador en los extremos. Este tratamiento permitió contar con trozas en muy buen estado, pese a que permanecieron alrededor de una semana en cancha bajo riego por aspersión.

El debobinado se efectuó con consumos de energía normales. Se pudo determinar que las trozas tratadas con 6 horas de macerado no alcanzan una temperatura adecuada a nivel del rollete residual. El debobinado de éstas fue más dificultoso que el de las tratadas por 10 horas.

El estudio de rendimientos reveló que las trozas de menor diámetro registran rendimientos menores a los de estudios anteriores. Esto se puede deber a la tecnología empleada.

El rendimiento de las trozas de mayor diámetro es normal y se ajusta a curvas de rendimiento calculadas en otros estudios.

En comparación con otros estudios las trozas de veintiún años y podadas dieron una alta proporción de láminas de la calidad superior full para caras (60%).

El proceso de secado aplicado en la planta no es el adecuado. Las temperaturas (180°C) y los tiempos (20 min) resultan demasiado extremos.

Los tableros fabricados con *Eucalyptus nitens* cumplen con las exigencias de las normas EN 314 y EN 310.

Al comparar las resistencias con las exigencias de las normas europeas, se puede aseverar que los tableros registran propiedades similares a las de tableros fabricados con latifoliadas nativas.

## 7.5 REFERENCIAS

**Kollmann, F.; Kuenzi, E.; Stamm, A. 1975.** Principles of Wood Science and Technology. II Wood Based Materials. Springer Verlag. pp. 154-283.

**Mckenzie, H.; Gaunt, D. 2001.** *Eucalyptus nitens* laminated veneer lumber. Wood Processing Newsletter, Issue N° 29 May 2001. Forest Research. New Zealand. ISS 013-6224. 2p.

**Poblete, H.** Estudio Técnico de la Utilización de *Eucalyptus nitens* en la Fabricación de Contrachapados. Informe de Convenio. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 42p.

**Rozas, C.; Sánchez, R.; Miranda, C. 2001.** Resultados preliminares del secado de *Eucalyptus nitens* de 11 años de edad. In: Simposio Internacional IUFRO. Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia. Chile, Septiembre. 95p.





## CAPITULO VIII

# PROPIEDADES MECÁNICAS

Hector Cuevas Doering \*

hcuevas@uach.cl

### 8.1 ANTECEDENTES GENERALES

El conocimiento hacia las propiedades mecánicas de *Eucalyptus nitens* orienta en gran medida sus potencialidades en la confección de productos remanufacturados, especialmente la fabricación de partes y piezas para muebles.

Existe una estrecha relación entre las propiedades mecánicas y la densidad de la madera, por ello en este estudio se relaciona aquellas con la densidad de la madera del ensayo.

De acuerdo a esto se ha tenido en el presente capítulo el siguiente objetivo:

- Determinar la resistencia de la madera en las siguientes solicitaciones:  
Flexión estática, compresión paralela a las fibras, tracción normal, cizalle, clivaje, dureza según Janka y extracción de clavos.

### 8.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se trabajó con cuatro viguetas centrales, provenientes de segundas y terceras trozas de árboles de *Eucalyptus nitens* de 21 años.

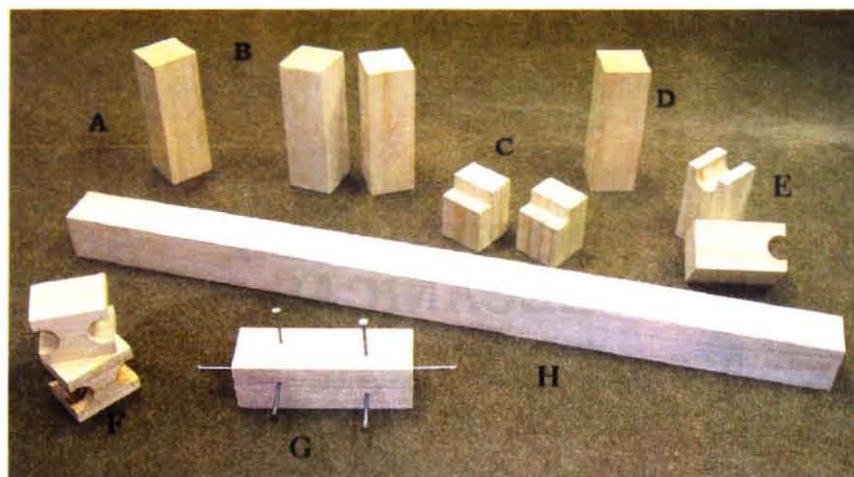
De cada vigueta se obtuvo material para confeccionar tres juegos completos de probetas para ensayos mecánicos (Figura 122). Se lograron, así, doce juegos representativos de seis alturas de cada árbol.

Se realizaron ensayos de: Flexión estática, Compresión paralela y normal a las fibras, Tracción normal tangencial y radial, Cizalle tangencial y radial, Clivaje tangencial y radial, Dureza según Janka en sentido paralelo y normal a las fibras y Extracción de clavos paralela y normal a las fibras.

Todas las propiedades mecánicas se determinaron al 12% de contenido de humedad y de acuerdo a las indicaciones y procedimientos establecidos por las Normas Chilenas específicas a cada tipo de esfuerzo considerado.

---

\* Constructor Civil (1971) Universidad Técnica del Estado (Chile) e Ingeniero Constructor (1999) Universidad Austral de Chile. *Especialidad:* Construcción en maderas y Uniones.



**FIGURA 122**  
**JUEGO DE PROBETAS: A) COMPRESIÓN PARALELA, B) COMPRESIÓN NORMAL, C) CIZALLE, D) DUREZA, E) CLIVAJE, F) TRACCIÓN NORMAL, G) EXTRACCIÓN DE CLAVOS, H) FLEXIÓN.**

### 8.3 RESULTADOS

Un resumen de los valores promedio para cada tipo de esfuerzo con sus respectivas desviaciones estándar se entrega en la Tabla 76.

**TABLA 76**  
**VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA MECÁNICA AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo y Propiedad                       | Unidad            | Valor promedio | Desviación Estándar |
|------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| <b>FLEXIÓN ESTÁTICA</b>                  |                   |                |                     |
| Tensión en el límite de proporcionalidad | N/mm <sup>2</sup> | 49,96          | 6,13                |
| Módulo de rotura                         | N/mm <sup>2</sup> | 81,04          | 7,41                |
| Módulo de Elasticidad                    | N/mm <sup>2</sup> | 7156,98        | 1279,6              |
| <b>COMPRESIÓN</b>                        |                   |                |                     |
| Paralela a las fibras                    | N/mm <sup>2</sup> | 46,54          | 4,88                |
| Normal a las fibras                      | N/mm <sup>2</sup> | 11,82          | 2,29                |
| <b>TRACCIÓN NORMAL</b>                   |                   |                |                     |
| Tangencial                               | N/mm <sup>2</sup> | 5,49           | 1,91                |
| Radial                                   | N/mm <sup>2</sup> | 3,26           | 1,33                |
| <b>CIZALLE</b>                           |                   |                |                     |
| Tangencial                               | N/mm <sup>2</sup> | 11,19          | 2,78                |
| Radial                                   | N/mm <sup>2</sup> | 8,25           | 1,84                |
| <b>CLIVAJE</b>                           |                   |                |                     |
| Tangencial                               | N/mm              | 5541,57        | 2136,93             |
| Radial                                   | N/mm              | 3670,14        | 1320,44             |
| <b>DUREZA JANKA</b>                      |                   |                |                     |
| Paralela a las fibras                    | N                 | 4901,69        | 475,71              |
| Normal a las fibras                      | N                 | 3719,58        | 930,40              |
| <b>EXTRACCIÓN de CLAVOS</b>              |                   |                |                     |
| Paralela a las fibras                    | N                 | 224,12         | 52,26               |
| Normal a las fibras                      | N                 | 333,75         | 101,31              |



Se complementa esta información con las Tablas 77, 78, 79 y 80 que contienen, en detalle, valores de cada una de las probetas

**TABLA 77**  
**VALORES DE FLEXIÓN ESTÁTICA Y COMPRESIÓN PARALELA**

| Troza -<br>Probeta N° | FLEXIÓN ESTÁTICA                              |                                          |                                          |                                               | COMPRESIÓN PARALELA                           |                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                       | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Lím. de<br>Prop.<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Mód.de<br>Rotura<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Mód.de<br>Elasticidad<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensión<br>Máxima<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 2-1                   | 0,567                                         | 54,61                                    | 83,30                                    | 6065,19                                       | 0,684                                         | 54,60                                     |
| 2-2                   | 0,562                                         | 49,65                                    | 77,23                                    | 5867,37                                       | 0,589                                         | 48,79                                     |
| 2-3                   | 0,633                                         | 49,72                                    | 79,99                                    | 8520,56                                       | 0,568                                         | 43,75                                     |
| 2-4                   | 0,647                                         | 52,88                                    | 88,26                                    | 7754,38                                       | 0,631                                         | 49,55                                     |
| 2-5                   | 0,657                                         | 55,16                                    | 91,57                                    | 8418,43                                       | 0,572                                         | 45,01                                     |
| 2-6                   | 0,600                                         | 55,71                                    | 84,40                                    | 7861,02                                       | 0,650                                         | 53,73                                     |
| 3-1                   | 0,513                                         | 41,92                                    | 77,23                                    | 6331,71                                       | 0,548                                         | 46,28                                     |
| 3-2                   | 0,546                                         | 45,16                                    | 77,78                                    | 6013,84                                       | 0,494                                         | 38,61                                     |
| 3-3                   | 0,548                                         | 45,09                                    | 75,57                                    | 6368,47                                       | 0,463                                         | 39,74                                     |
| 3-4                   | 0,454                                         | 38,06                                    | 63,99                                    | 5453,56                                       | 0,557                                         | 48,75                                     |
| 3-5                   | 0,602                                         | 54,61                                    | 87,16                                    | 7875,6                                        | 0,614                                         | 45,71                                     |
| 3-6                   | 0,640                                         | 56,89                                    | 86,05                                    | 9353,63                                       | 0,502                                         | 43,98                                     |
| MediaTrozas 2         | 0,611                                         | 52,96                                    | 84,12                                    | 7414,49                                       | 0,616                                         | 49,24                                     |
| MediaTrozas 3         | 0,550                                         | 46,96                                    | 77,96                                    | 6899,47                                       | 0,530                                         | 43,85                                     |
| <b>MEDIA GRAL.</b>    | <b>0,581</b>                                  | <b>49,96</b>                             | <b>81,04</b>                             | <b>7156,98</b>                                | <b>0,573</b>                                  | <b>46,54</b>                              |
| Desv. estándar        | 0,061                                         | 6,13                                     | 7,41                                     | 1279,60                                       | 0,066                                         | 4,88                                      |

**TABLA 78**  
**VALORES DE COMPRESIÓN NORMAL Y TRACCIÓN NORMAL**

| Troza -<br>Probeta N° | COMPRESIÓN NORMAL                             |                                           |                                               |                                           | TRACCIÓN NORMAL                               |                                           |                                               |                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                       | TANGENCIAL                                    |                                           | RADIAL                                        |                                           | TANGENCIAL                                    |                                           | RADIAL                                        |                                           |
|                       | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensión<br>Máxima<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensión<br>Máxima<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensión<br>Rotura<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Tensión<br>Rotura<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 2-1                   | 0,567                                         | 16,63                                     | 0,622                                         | 10,26                                     | 0,649                                         | 8,13                                      |                                               | 4,80                                      |
| 2-2                   | 0,562                                         | 17,01                                     | 0,672                                         | 11,58                                     | 0,654                                         | 6,24                                      | 0,677                                         | 4,66                                      |
| 2-3                   | 0,633                                         | 16,55                                     | 0,590                                         | 11,51                                     | 0,663                                         | 5,08                                      | 0,672                                         | 4,02                                      |
| 2-4                   | 0,647                                         | 15,87                                     | 0,677                                         | 11,42                                     | 0,637                                         | 8,66                                      | 0,655                                         | 3,44                                      |
| 2-5                   | 0,657                                         | 17,91                                     | 0,672                                         | 12,43                                     | 0,619                                         | 7,11                                      | 0,661                                         | 4,72                                      |
| 2-6                   | 0,600                                         | 13,36                                     | 0,659                                         | 10,97                                     | 0,657                                         | 6,35                                      | 0,667                                         | 5,05                                      |
| 3-1                   | 0,513                                         | 13,16                                     | 0,497                                         | 8,71                                      | 0,476                                         | 3,11                                      | 0,473                                         | 1,99                                      |
| 3-2                   | 0,546                                         | 11,84                                     | 0,527                                         | 9,51                                      | 0,484                                         | 3,03                                      | 0,465                                         | 2,28                                      |
| 3-3                   | 0,548                                         | 13,01                                     | 0,489                                         | 8,86                                      | 0,524                                         | 4,01                                      | 0,497                                         | 1,95                                      |
| 3-4                   | 0,454                                         | 10,35                                     | 0,542                                         | 7,82                                      | 0,470                                         | 3,33                                      | 0,444                                         | 1,48                                      |
| 3-5                   | 0,602                                         | 10,55                                     | 0,486                                         | 7,01                                      | 0,548                                         | 4,91                                      | 0,536                                         | 2,19                                      |
| 3-6                   | 0,640                                         | 8,87                                      | 0,493                                         | 8,46                                      | 0,558                                         | 5,94                                      | 0,563                                         | 2,54                                      |
| MediaTrozas 2         | 0,611                                         | 16,22                                     | 0,649                                         | 11,36                                     | 0,646                                         | 6,93                                      | 0,666                                         | 4,45                                      |
| MediaTrozas 3         | 0,550                                         | 11,30                                     | 0,506                                         | 8,39                                      | 0,510                                         | 4,05                                      | 0,496                                         | 2,07                                      |
| <b>MEDIA GRAL.</b>    | <b>0,581</b>                                  | <b>13,76</b>                              | <b>0,577</b>                                  | <b>9,88</b>                               | <b>0,578</b>                                  | <b>5,49</b>                               | <b>0,574</b>                                  | <b>3,26</b>                               |
| Desv. estándar        | 0,061                                         | 3,00                                      | 0,080                                         | 1,73                                      | 0,077                                         | 1,91                                      | 0,189                                         | 1,33                                      |

**TABLA 79**  
**VALORES DE CIZALLE Y CLIVAJE**

| Troza -<br>Probeta N° | CIZALLE                          |                              |                                  |                              | CLIVAJE                          |                              |                                  |                              |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
|                       | TANGENCIAL                       |                              | RADIAL                           |                              | TANGENCIAL                       |                              | RADIAL                           |                              |
|                       | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | Tensión<br>Máxima<br>(N/mm²) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | Tensión<br>Máxima<br>(N/mm²) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | Tensión<br>Rotura<br>(N/mm²) | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | Tensión<br>Rotura<br>(N/mm²) |
| 2-1                   | 0,543                            | 13,95                        | 0,555                            | 9,84                         | 0,583                            | 6384,13                      | 0,572                            | 3814,79                      |
| 2-2                   | 0,624                            | 14,32                        | 0,602                            | 9,24                         | 0,629                            | 6982,33                      | 0,672                            | 5040,62                      |
| 2-3                   | 0,673                            | 12,98                        | 0,670                            | 10,62                        | 0,629                            | 6766,59                      | 0,663                            | 4471,83                      |
| 2-4                   | 0,676                            | 13,73                        | 0,657                            | 10,51                        | 0,586                            | 7894,35                      | 0,606                            | 4530,67                      |
| 2-5                   | 0,619                            | 13,69                        | 0,656                            | 9,48                         | 0,630                            | 8610,24                      | 0,666                            | 4569,90                      |
| 2-6                   | 0,576                            | 12,98                        | 0,563                            | 8,30                         | 0,656                            | 7335,37                      | 0,684                            | 6070,32                      |
| 3-1                   | 0,505                            | 7,38                         | 0,486                            | 6,06                         | 0,501                            | 5187,72                      | 0,518                            | 2922,38                      |
| 3-2                   | 0,511                            | 8,41                         | 0,491                            | 6,67                         | 0,500                            | 2216,30                      | 0,480                            | 1647,52                      |
| 3-3                   | 0,547                            | 11,84                        | 0,486                            | 8,60                         | 0,496                            | 4001,11                      | 0,494                            | 2794,90                      |
| 3-4                   | 0,471                            | 8,74                         | 0,450                            | 5,65                         | 0,488                            | 2422,24                      | 0,451                            | 1873,07                      |
| 3-5                   | 0,516                            | 8,68                         | 0,451                            | 8,44                         | 0,563                            | 3442,13                      | 0,560                            | 3422,52                      |
| 3-6                   | 0,468                            | 7,54                         | 0,462                            | 5,57                         | 0,555                            | 5256,36                      | 0,584                            | 2883,16                      |
| MediaTrozas 2         | 0,618                            | 13,61                        | 0,617                            | 9,67                         | 0,619                            | 7328,84                      | 0,644                            | 4749,69                      |
| MediaTrozas 3         | 0,503                            | 8,77                         | 0,471                            | 6,83                         | 0,517                            | 3754,31                      | 0,514                            | 2590,59                      |
| <b>MEDIA GRAL.</b>    | 0,561                            | 11,19                        | 0,544                            | 8,25                         | 0,568                            | 5541,57                      | 0,579                            | 3670,14                      |
| Desv. estándar        | 0,073                            | 2,78                         | 0,085                            | 1,84                         | 0,061                            | 2136,93                      | 0,081                            | 1320,44                      |

**TABLA 80**  
**VALORES DE DUREZA JANKA Y EXTRACCIÓN DE CLAVOS**

| Troza -<br>Probeta N° | DUREZA JANKA                     |                        |                        | EXTRACCIÓN DE CLAVOS             |                        |                        |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|
|                       | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | NORMAL                 | PARALELA               | Densidad<br>de Ensayo<br>(g/cm³) | NORMAL                 | PARALELA               |
|                       |                                  | Carga<br>Máxima<br>(N) | Carga<br>Máxima<br>(N) |                                  | Carga<br>Máxima<br>(N) | Carga<br>Máxima<br>(N) |
| 2-1                   | 0,656                            | 4670,42                | 5339,72                | 0,578                            | 357,94                 | 254,97                 |
| 2-2                   | 0,660                            | 4726,81                | 5187,72                | 0,583                            | 361,67                 | 308,91                 |
| 2-3                   | 0,667                            | 5293,14                | 5212,23                | 0,575                            | 364,12                 | 269,68                 |
| 2-4                   | 0,624                            | 4368,86                | 4996,49                | 0,598                            | 386,19                 | 245,17                 |
| 2-5                   | 0,569                            | 4567,45                | 5393,66                | 0,588                            | 405,80                 | 274,59                 |
| 2-6                   | 0,562                            | 3380,84                | 5369,14                | 0,653                            | 529,56                 | 267,23                 |
| 3-1                   | 0,493                            | 2814,51                | 4329,64                | 0,508                            | 297,83                 | 196,13                 |
| 3-2                   | 0,492                            | 2880,70                | 4202,15                | 0,531                            | 357,94                 | 176,52                 |
| 3-3                   | 0,522                            | 2834,12                | 4579,71                | 0,497                            | 209,67                 | 171,62                 |
| 3-4                   | 0,519                            | 3067,03                | 4403,19                | 0,520                            | 174,07                 | 142,20                 |
| 3-5                   | 0,594                            | 3287,68                | 5393,66                | 0,466                            | 191,23                 | 178,97                 |
| 3-6                   | 0,486                            | 2743,41                | 4412,99                | 0,553                            | 369,02                 | 203,49                 |
| MediaTrozas 2         | 0,623                            | 4501,25                | 5249,83                | 0,596                            | 400,88                 | 270,09                 |
| MediaTrozas 3         | 0,518                            | 2937,91                | 4553,55                | 0,512                            | 266,63                 | 178,15                 |
| <b>MEDIA GRAL.</b>    | <b>0,570</b>                     | <b>3719,58</b>         | <b>4901,69</b>         | <b>0,554</b>                     | <b>333,75</b>          | <b>224,12</b>          |
| Desv. estándar        | 0,069                            | 930,40                 | 475,71                 | 0,052                            | 101,31                 | 52,26                  |



Según el procedimiento establecido en la Norma Chilena 1989 para agrupar las maderas que crecen en Chile, de acuerdo a las resistencias que se obtienen en ensayos normalizados con probetas libres de defectos en estado seco, esta madera corresponde al Grupo ES 5.

En general existe una alta correlación entre Resistencias mecánicas y Densidad de la madera. Las respectivas funciones y su coeficiente de correlación se entregan en la Tabla 81.

**TABLA 81**  
**RELACIONES ENTRE PROPIEDADES DE MADERA Y DENSIDAD,**  
**AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Propiedad                              | Ecuación                   | R <sup>2</sup> |
|----------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Flexión estática                       | $f = 86,268 D - 0,1394$    | 0,7367         |
| Tensión en el Lím. de proporcionalidad | $Rf = 109,52 D + 17,446$   | 0,8128         |
| Módulo de rotura                       | $Ef = 18195 D - 3408,4$    | 0,7515         |
| Módulo de Elasticidad                  |                            |                |
| Compresión                             | $Rcp = 66,176 D + 8,6495$  | 0,7983         |
| Paralela a las fibras                  |                            |                |
| Normal a las fibras                    | $Rent = 36,924 D - 7,6402$ | 0,7965         |
| Tangencial                             | $Rcnr = 19,081 D - 1,1137$ | 0,7803         |
| Radial                                 |                            |                |
| Tracción normal                        | $Rtnt = 20,52 D - 6,319$   | 0,6778         |
| Tangencial                             | $Rtnr = 13,15 D - 4,3891$  | 0,8746         |
| Radial                                 |                            |                |
| Cizalle                                | $Rczt = 31,394 D - 6,4161$ | 0,6753         |
| Tangencial                             | $Rczt = 31,394 D - 6,4161$ | 0,6753         |
| Radial                                 | $Rczt = 31,394 D - 6,4161$ | 0,6753         |
| Clivaje                                | $Rclt = 29423 D - 11168$   | 0,6967         |
| Tangencial                             | $Rclr = 15114 D - 5083,6$  | 0,8666         |
| Radial                                 |                            |                |
| Dureza Janka                           | $Dp = 5468,6 D + 1782,5$   | 0,6294         |
| Paralela a las fibras                  | $Dn = 12295 D - 3293,6$    | 0,8318         |
| Normal a las fibras                    |                            |                |
| Extracción de clavos                   | $Exp = 787 D - 211,89$     | 0,6094         |
| Paralela a las fibras                  | $Exn = 1768,7 D - 646,12$  | 0,8192         |
| Normal a las fibras                    |                            |                |

Donde:  
D: Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)



## 8.4 CONCLUSIONES

Considerando la densidad aparente a un 12% de contenido de humedad y los antecedentes obtenidos para Flexión estática, Compresión paralela a las fibras, Clivaje y Dureza se clasificó la madera de acuerdo a las proposiciones de Sallenave (1955). Estas se entregan en la Tabla 82.

**TABLA 82**  
**CLASIFICACIONES SEGÚN SALLENAVE (1955)**

| De acuerdo a Densidad al 12%                                                       | Madera liviana                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| De acuerdo a Flexión estática<br>Clase<br>Cota de flexión<br>Calidad<br>Aplicación | Mediana<br>14,22<br>Mediana<br>Madera mediana para carpintería        |
| De acuerdo a Compresión paralela<br>Clase<br>Cota de calidad estática<br>Calidad   | Superior<br>8,28<br>Ligera                                            |
| De acuerdo a Clivaje<br>Clase<br>Cota de laminabilidad<br>Clase<br>Aplicación      | Pequeña<br>0,871<br>Medianamente laminable<br>Madera de uso corriente |
| De acuerdo a Dureza<br>Tipo<br>Cota de Dureza<br>Clase<br>Tipo de comparación      | Blanda<br>1167,4<br>Normal<br>Madera industrial                       |



**INFOR**  
*Instituto Forestal*



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



GOBIERNO DE CHILE  
CORFO