

**UNIVERSIDAD DEL BIO- BIO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCION Y DISEÑO
MAGISTER “CONSTRUCCION EN MADERA”**



**“ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA IMPREGNACION CON CCA EN
LAS UNIONES DE VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADAS CON
ADHESIVO DE RESORCINOL”**

Director de tesis: M.Sc. Arq. Cecilia Poblete Arredondo

Prof. Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño. U.Bío-Bío

Director de tesis: Ing. Mario Wagner Muñoz

Prof. Facultad de Ingeniería. Universidad de Chile

Memoria realizada por: Arq. María Angélica Calone Texeira

Concepción, Chile

Julio 2005

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad estudiar y evaluar la problemática de la construcción de elementos estructurales de madera laminada y encolada con proceso previo de impregnación por medio de sales cromo-cupro-arsenicales mediante el sistema de vacío presión.

Se estudió la compatibilidad entre adhesivo para uso exterior a base de resorcinol formol y madera preservada con sales de CCA tipo C en dos especies forestales.

El estudio se realizó de acuerdo a los criterios de diseño, control y ensayos desarrollados por la norma ASTM D 2559-76

Para estudiar la compatibilidad entre madera impregnada y el adhesivo se fabricaron vigas de madera laminada encolada de *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis* de las cuales se extrajeron probetas para la realización de ensayos de cizalle en el adhesivo y ciclo de delaminación, y se compararon con iguales en madera sin impregnar.

La importancia de este análisis radica en el hecho de que la viabilidad de esta tecnología permitiría solucionar patologías detectadas en este tipo de construcciones que limitan su uso estructural al no hacerlas confiables por su probable colapso en caso de ser atacadas seriamente por agentes xilófagos. La utilización de madera impregnada se hace imprescindible para poder subsanar el problema en vista de su utilización en estructuras de grandes luces.

INDICE

CAPITULO 1	INTRODUCCION	
1.1.	Generalidades	1
1.2.	Objetivos	1
1.3.	Fundamentación	1
CAPITULO 2	SITUACION FORESTAL	
2.1.	Contexto mundial	6
2.2.	Situación actual del sector forestal	6
2.3.	El sector forestal en el 2020	11
CAPITULO 3	AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA	
3.1.	Agentes abióticos	13
3.2.	Agentes bióticos	14
3.2.1	Hongos xilófagos	14
3.2.2	Insectos xilófagos	15
3.3.	Insectos presentes en Uruguay	17
3.3.1	Insectos de ciclo larvario	17
3.3.1.1	Anobium punctatum	17
3.3.1.2	Hylotrupes bajulus	19
3.3.1.3	Lyctus brunneus	20
3.3.2.	Insectos sociales	21
3.3.2.1	Reticulitermes lucifugus	21
CAPITULO 4	PRESERVACION	
4.1.	Impregnabilidad y durabilidad natural	25
4.2.	Características del preservante	26
4.3.	Evaluación del grado de protección	27
4.3.1	Absorción	28
4.3.2	Penetración	28
4.3.3	Retención	29
CAPITULO 5	ADHERENCIA	
5.1.	Nociones teóricas sobre adhesión de madera	31
5.2.	Factores de adhesión	32
5.2.1	Condiciones de la superficie de la madera	32
5.2.2	Humedecimiento	34
5.2.3	Contenido de humedad	35
5.2.4	Otros factores	35
5.3.	Adhesividad e impregnación con CCA	36
5.4.	Clasificación de los adhesivos para madera	37
5.4.1	Adhesivos naturales	37
5.4.2	Adhesivos a base de resinas sintéticas	37
5.5.	Características de los adhesivos de resorcinol	38
5.6.	Duración de las juntas de cola	39

CAPITULO 6	MATERIALES Y METODO	
6.1.	Madera	41
6.2.	Preservante	41
6.3.	Adhesivo	41
6.4.	Fabricación de las vigas laminadas	42
6.5.	Ensayos físico mecánicos	45
6.5.1	Ensayo de cizalle a través del adhesivo	45
6.5.2	Ensayo de ciclo de delaminación	47
6.5.3	Determinación de la densidad	51
6.6.	Análisis estadístico	52
6.6.1	Test concerniente a dos muestras muestrales	52
CAPITULO 7	RESULTADOS Y ANALISIS	
7.1.	Ensayo de ciclo de delaminación	55
7.1.1	Resultados del ensayo de delaminación	55
7.1.2	Análisis de la delaminación registrada	56
7.1.3	Análisis del aumento y disminución del peso	59
7.2.	Ensayo de cizalle a través del adhesivo	61
7.2.1	Resultados del ensayo de cizalle	61
7.2.2	Análisis de los resultados del ensayo de cizalle	62
7.2.2.1	Madera de pino	63
7.2.2.2	Madera de eucalipto	67
CAPITULO 8	CONCLUSIONES	71
8.1.	Conclusiones del ensayo de delaminación	73
8.2.	Conclusiones del ensayo de cizalle	74
8.3.	Conclusiones generales	75
8.4.	Recomendaciones	76
ANEXOS		
ANEXO I	Bitácora de fabricación	77
ANEXO II	Especificaciones técnicas del adhesivo	95
ANEXO III	Cuadros de ensayos	101

CAPITULO 1 – INTRODUCCION

1.1. Generalidades

Históricamente la madera aserrada o en rollos ha sido objeto de diversos tipos de tratamientos, superficiales y profundos, a efectos de ser preservada de agentes destructores y alargar su vida útil.

Frente al agotamiento en los bosques naturales de maderas duras y su reemplazo por especies de menores densidades, la preservación de la madera es la respuesta moderna de la técnica que permite la obtención de un producto de igual o mejor duración a un menor costo.

Asimismo, la aparición de la tecnología del laminado y encolado se presenta como una forma de racionalizar el uso del recurso madera, permitiendo también construir todo tipo de estructuras.

El surgimiento de esta tecnología trae nuevos problemas a resolver, como la compatibilidad entre madera impregnada para laminación y los adhesivos utilizados en el proceso de fabricación de elementos constructivos.

1.2. Objetivos

General

El objetivo marco de la presente investigación es contribuir al desarrollo del sector maderero mediante el mejoramiento y difusión de técnicas que hagan más eficiente y confiable los productos estructurales en madera laminada.

Específicos

Determinar la viabilidad de utilizar elementos estructurales (pilares, vigas, arcos, pórticos, etc.) de madera impregnada-laminada-encolada construidas con *Pinus elliotii* y *Eucalyptus grandis*, cultivados en el Uruguay.

Determinar experimentalmente la compatibilidad entre madera de pino y eucalipto impregnada con sales de CCA tipo C y adhesivo de resorcinol-formol según las indicaciones de la norma ASTM D 2559-76 “Adhesivos para productos laminados estructurales de madera para uso en el exterior”

Comparar para cada especie el comportamiento mecánico en la línea de cola entre vigas de madera con y sin tratamiento previo de preservación y entre las dos especies entre sí.

1.3. Fundamentación

Proyecciones forestales realizadas por la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca indican que para el año 2010 Uruguay contará con 950.000 ha de bosques implantados, básicamente de eucaliptos

y pinos, recurso renovable, que junto a una explotación racional lo lleva a ser inagotable.

Para esa fecha la estimación de disponibilidad de madera con fines industriales es de 9.800.000 m³ por año (Dirección Forestal, MGAP). Si bien actualmente el uso mayor es como madera rolliza para pulpa, hay un reconocimiento de que se debe comenzar a producir productos con mayor valor agregado y que la manera más eficiente para consumir grandes cantidades de madera es como material de construcción.

La tendencia indica que en los próximos años el abastecimiento de las industrias que ocupan materia prima forestal será de estas especies que tradicionalmente han sido poco utilizadas para la construcción por contar con defectos o irregularidades naturales de crecimiento, con longitudes y secciones no comerciables, fácilmente degradables por sus bajos valores de densidad.

Con la incorporación de tecnologías de secado, preservación y procesos constructivos adecuados se podrá recuperar esta madera mejorando su calidad y calificando nuevamente en el mercado.

En este sentido surge la posibilidad de uso de la madera preservada laminada y encolada en la industria de la construcción, como una alternativa racional al uso tradicional de este recurso. El desarrollo que ha tenido este producto en los últimos años lo hace competitivo frente a otros materiales tradicionales como el acero y el hormigón armado, pues permite gran flexibilidad en el diseño arquitectónico, especialmente en obras de gran envergadura. Asimismo, se debe destacar su mejor comportamiento frente al fuego en relación con el acero.

Las características físicas de nuestras maderas, provenientes de cultivo, clasificadas por la norma UNIT 237-70 como maderas livianas por sus valores de densidad nominal, pino $\rho_{0,12} = 0.41 \text{ g/cm}^3$, eucalipto $\rho_{0,12} = 0.48 \text{ g/cm}^3$ (Mantero, 1999) y con un incremento medio anual de 20 a 40 m³/ha/año (Sorrentino, 1992), la hacen especialmente atacable por agentes destructores, mucho más sensibles que maderas de bosques nativos.

Su vida útil puede ser alargada en forma considerable aplicando técnicas especiales en su manejo, bien sea por cambios en las condiciones que favorecen su destrucción, o por la aplicación de sustancias tóxicas que impiden la presencia de organismos xilófagos.

Asimismo por tener nudosidades y reducidos diámetros, la forma de aprovechamiento más racional es la tecnología del laminado y encolado.

Los signos patológicos que se presentan en las vigas de madera laminada y encolada tienen diversos orígenes, siendo uno de los más comunes la delaminación o falla en la línea de cola.



Fig. 1.1 – Delaminación en arco estructural
[Foto: C. Meyer]

Estas patologías se están presentando recientemente a nivel mundial (por ser la tecnología del laminado relativamente joven), y también en algunos de los pocos ejemplos existentes a nivel nacional.

Generalmente la delaminación se produce de forma controlada y no afecta por sí misma la capacidad estructural de una unidad funcional; aparecen pequeños intersticios que favorecen la penetración de agentes destructores quienes sí lo hacen.



Fig. 1.2 – Comienzo de delaminación en viga con zona afectada por hongos
[Foto: C. Meyer]

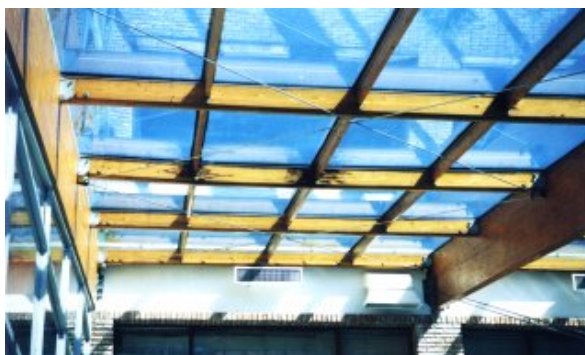


Fig. 1.3 – Comienzo de delaminación en viga con zona afectada por hongos
[Foto: C. Meyer]

El ataque de hongos e insectos se evita mediante la utilización de madera preservada, experiencia que ha sido eficazmente comprobada. La problemática se plantea a partir de la incursión de la tecnología del laminado con madera preservada, pues no existe acuerdo a nivel internacional acerca de la compatibilidad entre adhesivos y preservantes (Sellers 1997, Zhang 1997, Vick 2003).

En síntesis el uso de la madera en nuestro país tiene serias restricciones, siendo las más importantes la densidad del material y la abundancia de insectos xilófagos.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TECNICAS 1970, Determinación del Peso Específico aparente en Madera. UNIT 237-70

Mantero, C. et al. 1999 “*Caracterización tecnológica de las principales especies forestales cultivadas en Uruguay*” Facultad de Agronomía, Montevideo, 24p.

Sellers, T. et al. 1997 “*Evaluations of three adhesive systems for CCA-treated lumber*”. Forest Prod. J.Vol 47, (10) pp.73-76

Sorrentino, A. 1992 “*Indice de sitio, volumetría y crecimiento de pinos y eucaliptos en el Uruguay*” Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, pp. 171-194.

Vick, Ch. 2003. *Adhesive Bonding of Wood Materials*. Wood Handbook, USDA. Chapter 9, pp 1-23

Zhang, H. et al. 1997 “*Surface tension adhesive wettability and bondability of artificially weatheres CCA-treated southern pine*”. Forest Prod. J.Vol 47, (10) pp.69-72

CAPITULO 2 - SITUACIÓN FORESTAL EN URUGUAY

2.1. Contexto mundial

En los últimos treinta años la cosecha mundial de madera ha aumentado a un ritmo anual promedio de 1,8%, observándose una estrecha correlación de este incremento con el crecimiento de la población. Paralelamente se ha dado un proceso progresivo de deforestación del planeta que alcanza tasas estimadas de más de quince millones de hectáreas por año. En respuesta a esta devastación se han instrumentado acciones a favor de la conservación de los recursos forestales del planeta. Estas acciones van desde las restricciones en la corta de bosques naturales hasta la comercialización de la madera provenientes de dichos bosques

Productores tradicionales como EE.UU., Canadá o Malasia ceden crecientemente el terreno a países forestales emergentes como Nueva Zelanda, Sudáfrica, Brasil y Chile. Las plantaciones desplazan cada vez más a los bosques nativos en la oferta mundial de madera y el futuro del balance oferta – demanda del recurso forestal será, en el mejor de los casos, bastante ajustado. En este escenario de mercados dinámicos, crecientes niveles de demanda para determinados productos y condiciones de severas restricciones en la oferta maderera, cobra creciente relevancia el suministro de países cuya madera proviene de plantaciones y cuya capacidad de procesamiento se desarrolla respetando criterios de competitividad a nivel mundial.

Si bien Uruguay se ha caracterizado por un importante desarrollo agropecuario y por una muy limitada tradición forestal, las condiciones ecológicas y los crecimientos logrados en forestaciones industriales con especies exóticas permiten desarrollar al sector forestal sobre una base de competitividad externa y un desarrollo sustentable de la producción forestal. De afianzarse el proceso de forestación ya iniciado y si es acompañado por el desarrollo de los servicios y la industria, Uruguay se integrará en un futuro no muy lejano a la categoría de países forestales emergentes (Torres, 2004).

2.2. Situación actual del sector forestal

Las condiciones naturales de Uruguay con suelo ondulado, una vasta red hidrográfica, clima templado con lluvias que se distribuyen casi uniformemente en el año, junto a factores socio-económicos, determinaron la preponderancia de la ganadería sobre otras actividades agrícolas.

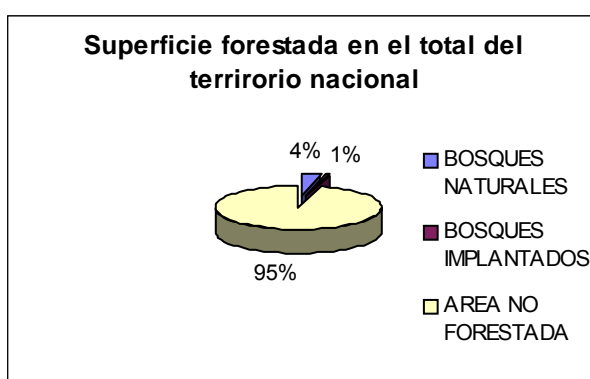
Uruguay en la década de los 80 se caracterizaba por la predominancia de una vegetación de pradera natural y sólo el 4.9% de su superficie se encontraba cubierta por bosques de los cuales el 3.8% eran naturales y 1.1% artificiales.

Los bosques naturales cumplían funciones de reguladores de cuencas hídricas, refugio de la fauna y abrigo del ganado, proveedor de leña y madera rústicas, paisajístico y turístico.

Los bosques artificiales compuestos fundamentalmente por eucaliptos (75%) y pinos (15%), y en menor porcentaje sauce, álamo y paraíso fueron implantados en el país con el objetivo principal de protección para el ganado (abrigo y sombra) y los cultivos (cortinas cortavientos). También se forestaron las dunas de la costa para contener el avance de las arenas y con fines recreativo y turístico.

De acuerdo a las cifras de la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) en 1985 el país contaba con casi 200.000 hectáreas de bosques artificiales y con 667.315 ha. de bosques naturales.

En el gráfico 1.1 se muestra la incidencia en el territorio nacional de los bosques implantados al año 1985



Gráf. 1.1 – Superficie forestada, año 1985

[Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www/mgap.gub.uy]

Es en ese marco que el país aprueba en diciembre de 1987 una nueva ley forestal, Ley de Desarrollo Forestal 15.939, en sustitución de la que regía desde 1968 que pretende impulsar la forestación con especies exóticas de rápido crecimiento. Si bien esta ley no plantea grandes innovaciones con respecto a la anterior, incluye ciertas disposiciones que hicieron que resultara un instrumento válido para el desarrollo forestal. La diferencia más significativa con respecto a la ley anterior es que en este caso se prevé un financiamiento concreto, exoneraciones impositivas, reinversión de impuestos, créditos “blandos”, subsidios, etc.

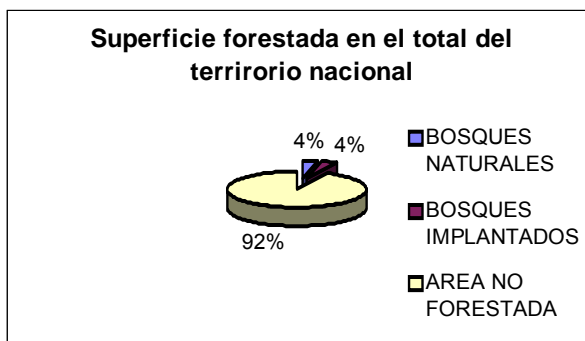
El objetivo central de la ley forestal fue el de promover la implantación de bosques con fines industriales y de protección (conservación de suelos, agua y otros recursos renovables) en las zonas donde las tierras son menos aptas para la ganadería y la agricultura, pero donde los árboles alcanzan buenos rendimientos.

Esta ley además de incentivar las plantaciones prohíbe la explotación de los bosques naturales sin autorización expresa de la Dirección Forestal del MGAP.

Un decreto complementario del año 1988 define los suelos de prioridad forestal basado en el concepto de aptitud forestal, “suelos que permitan un buen crecimiento de los bosques, con un buen enraizamiento y adecuado drenaje y que sean de baja fertilidad natural”. El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca concluye el estudio definiendo las zonas clasificadas de

prioridad forestal, estas alcanzan las 3.574.567 hectáreas lo que corresponden al 20% de la superficie total nacional (Carrere, 1989).

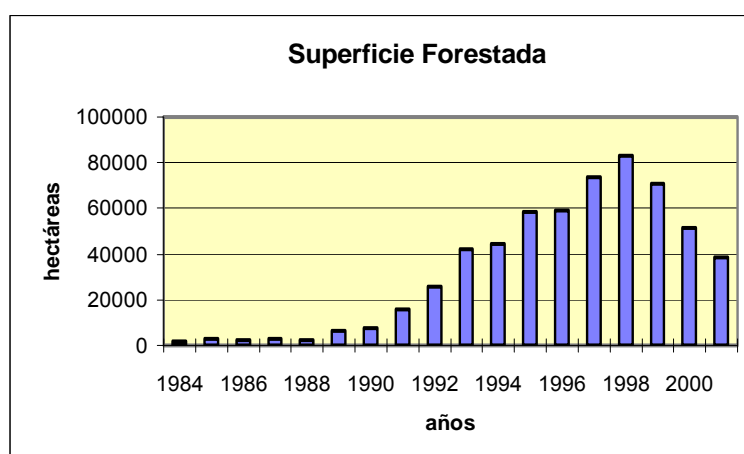
En la actualidad, la superficie de bosques, incluidos naturales e implantados, se estima en 1.350.00 hectáreas (7.7% la superficie total del país). El índice de bosques per cápita es de 0.4 hectáreas. El gráfico 1.2 muestra la incidencia en el territorio nacional de los bosques implantados al año 2000



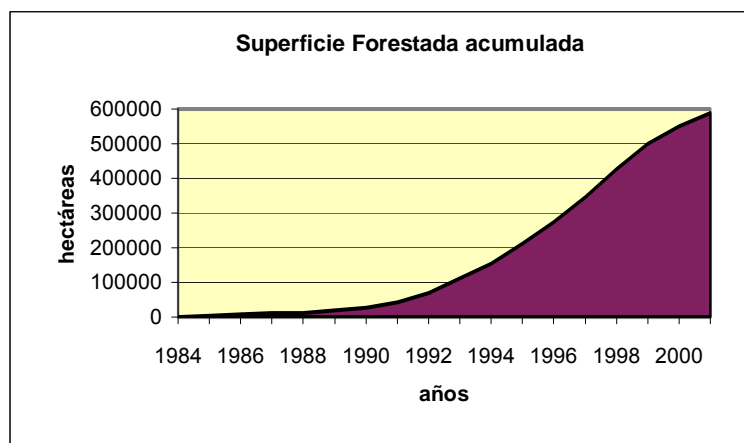
Gráf. 1.2 – Superficie forestada, año 2000
[Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www/mgap.gub.uy]

El primer impacto del nuevo marco legal se percibió en la superficie dedicada a la implantación de bosques bajo régimen promocional. En el quinquenio anterior a la vigencia de la ley, la forestación aumentó en 13 mil hectáreas, mientras que en el quinquenio posterior se multiplicó por 3 alcanzando casi las 170 mil hectáreas. Durante el período 1995 – 2000 la forestación en Uruguay aumentó un 130%, llegando a más de 500 mil hectáreas de bosques con fines industriales (Torres, 2004)

Los gráficos 1.3 y 1.4 muestran la evolución de la forestación por año y en hectáreas en el marco de la política de promoción forestal.



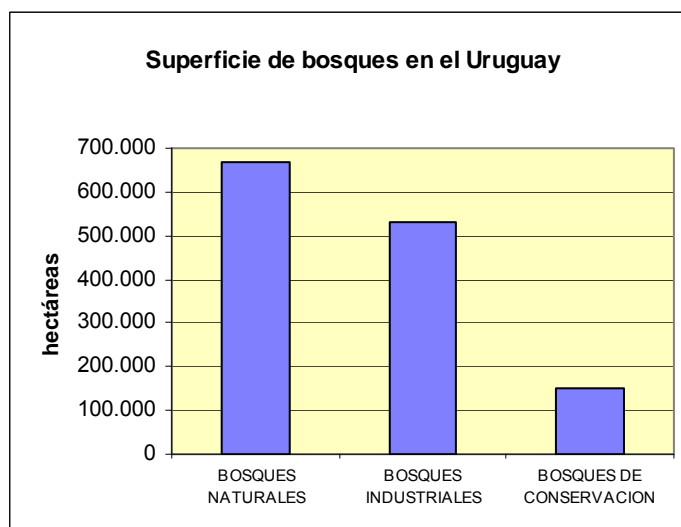
Gráf. 1.3 – Superficie forestada por año y en hectáreas
[Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www/mgap.gub.uy]



Gráf. 1.4 – Superficie forestada acumulada en hectáreas
 [Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www.mgap.gub.uy]

Al año 2000, existen 1.348.667 hectáreas cubiertas por bosques. De ellas, 667.315 corresponden a bosques nativos y 681.352 a bosques implantados (530.732 hectáreas de bosques con fines industriales y 150.620 de conservación).

En el gráfico 1.5 se muestra la superficie de bosques naturales e implantados (industriales y de conservación) en hectáreas al año 2000.



Gráf. 1.5 – Superficie de bosques naturales e implantados, año 2000
 [Fuente: Dirección Forestal. MGAP, página web, www.mgap.gub.uy]

La superficie forestada al año 2000 representa un 37.7% de la superficie de prioridad forestal de los cuales el 50% corresponden a bosques naturales, un 39% a bosques implantados industriales y un 11% los de conservación.

Los géneros recomendados al amparo del marco promocional de 1987 se orientaron principalmente hacia los eucaliptos (*grandis*, *saligna* y *globulus*) y pinos (*elliottii* y *taeda*) por su velocidad de crecimiento, con incrementos medios anuales (IMA) definidos por la Dirección Forestal del MGAP de 23 m³/ha/año para el género eucalipto y de 20 m³/ha/año para el pino situaron a Uruguay dentro de los productores de madera con mejores índices de

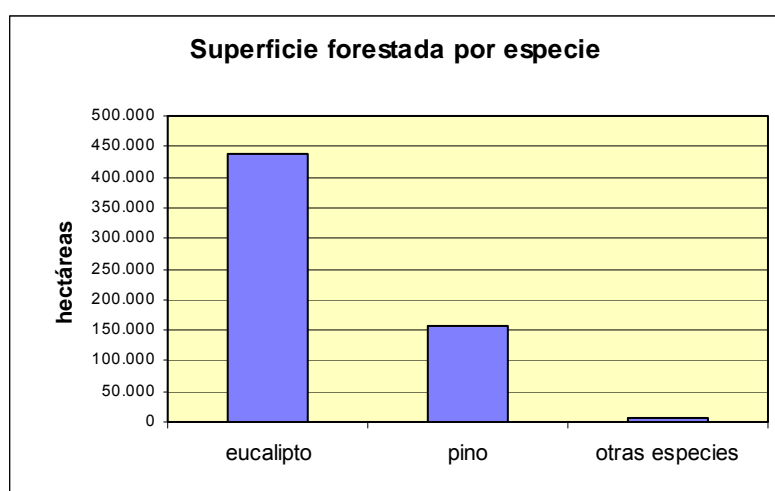
crecimiento, que permiten obtener importantes volúmenes de madera (Sorrentino, 1992)

Del total forestado bajo proyectos declarados en la Dirección Forestal, el 73% corresponden a los eucaliptos y el 26 % a los pinos, siendo marginal la superficie forestadas con salicáceas u otras especies.

Con respecto al género eucalipto la tendencia de plantación es hacia el *Eucalyptus grandis* (53%) frente al *Eucalyptus globulus* (37%).

En cuanto al pino prevalece *Pinus elliottii* (45%) frente al *Pinus taeda* (39%) (Torres, 2004)

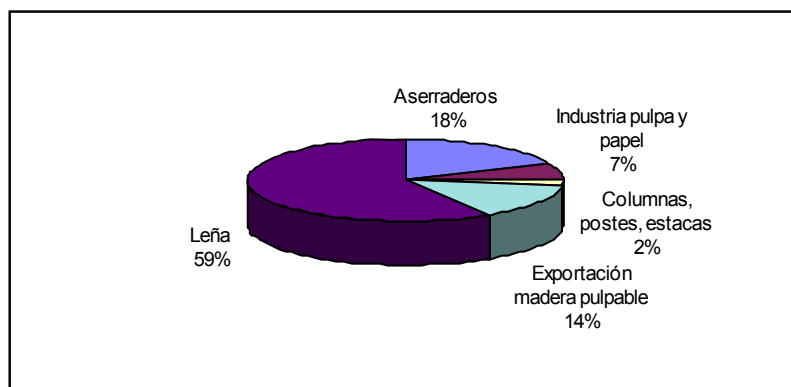
En el gráfico 1.6 se muestra la superficie forestada de eucalipto y pino por hectáreas al año 2002.



Gráf. 1.6 – Superficie forestada por especie, año 2002
[Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www.mgap.gub.uy]

Actualmente la producción de madera tiene un fin mayoritariamente para leña, los volúmenes para fines industriales son para pulpa y papel, madera aserrada para pallets, postes y estacas.

En el gráfico 1.7 se muestra el uso de la madera producida anualmente en Uruguay según su destino final



Gráf. 1.7 – Destino final de la madera
[Fuente: Dirección Forestal, MGAP, página web, www.mgap.gub.uy]

Salvo el caso de la cadena papelera, solo se ha incursionado en procesos primarios de la madera procedente de plantaciones, el aserrío a pequeña escala, la producción de postes para líneas de transmisión y la exportación de rollizos para pulpa. Estos productos no son exigentes respecto a la calidad de la materia prima ni requieren tecnología sofisticada. Para el desarrollo del sector forestal en los próximos años, se hace necesario consolidar una industria de transformación secundaria y los servicios para diversificar la producción y elaborar productos con mayor valor agregado.

A 17 años de vigencia de la ley de promoción forestal, el sector logró un crecimiento significativo en la superficie forestada. Comenzó a desarrollar procesos industriales primarios, particularmente de madera aserrada, y también a generar volúmenes exportables de madera en bruto (Torres, 2004)

2.3. El sector forestal en el 2020

El escenario más probable, es el que corresponde al escenario “Si la situación continúa” entendiendo por tal no una situación de estancamiento en el desarrollo forestal sino una situación inercial entre lo plantado, lo industrializado, lo comercializado, etc. (Torres, 2004)

Es posible suponer que para el 2020 la superficie de bosques se incremente, tanto en el caso del bosque natural como en las plantaciones. Se estima alcanzar en el 2020 una superficie total forestal (bosques naturales y plantaciones) de alrededor de 1.950.000 ha, de las cuales 900.000 ha serán sólo plantaciones forestales con fines industriales (Torres, 2004)

Esta superficie forestada corresponde a un 54.6% de ocupación de la superficie definida de prioridad forestal.

La situación más probable del sector forestal con respecto a los productos forestales maderables es que se continúe exportando madera rolliza o eucaliptos para pulpa, pulpa de papel y productos con mayor valor agregado, a partir de distintas formas de “madera sólida”: aserrada, debobinado, tableros, etc.

Para elaborar productos con mayor valor agregado Uruguay necesita consolidar la industria de transformación secundaria y los servicios, para lo cual requiere alcanzar un mayor desarrollo tecnológico e intensificar la investigación tanto a nivel de las plantaciones, como de la producción y los mercados (Torres, 2004)

BIBLIOGRAFÍA

Carrere, R. 1989 *“El Complejo Forestal. Situación actual y perspectiva”* , Altamira SRL, Montevideo, 85p.

MGAP, 1966 *“Forestación en el Uruguay”* Oficina de Programación y Política Agropecuaria, Montevideo.

Torres, J.M. et al. 2004 *“Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina. Informe Nacional Uruguay”* Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Montevideo, 130p.

Sorrentino, A. 1992 *“Índice de sitio, volumetría y crecimiento de pinos y eucaliptos en el Uruguay”* Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo. pp. 171-194.

CAPÍTULO 3 - AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA

La madera como material de origen orgánico, (compuesta principalmente por celulosa y lignina) sufre el ataque de organismos vivos, fundamentalmente hongos e insectos, que cuando encuentran las condiciones adecuadas para desarrollarse pueden llegar a destruirla totalmente. La madera de albura y de duramen presentan distinta resistencia a los organismos de deterioro, en la albura suele encontrarse sustancias de reserva como azúcares y almidones que la hacen especialmente apetecible para hongos e insectos, la madera de duramen contiene otro tipo de sustancias, propias del proceso de duraminización, que tienen en algunos casos propiedades inhibitorias para el desarrollo de estos organismos, como aceites esenciales, resinas, taninos, gomas, compuestos fenólicos y sustancias hidrosolubles diversas, de alta toxicidad.(Tuset, 1979)

Los agentes destructores de la madera se clasifican en:

Agentes no vivos- abióticos: radiación solar, lluvia, humedad, fuego, esfuerzos mecánicos

Agentes vivos- bióticos: hongos cromógenos y de pudrición e insectos de ciclo larvario y sociales.

3.1. Agentes abióticos

Los principales agentes abióticos que actúan sobre la madera al exterior son el sol y la lluvia. El efecto de los agentes atmosféricos es un fenómeno complejo ya que su acción es generalmente combinada con diferentes intensidad y periodicidad.

La radiación solar actúa principalmente a través de los rayos ultravioletas y los infrarrojos.

La **radiación ultravioleta** no penetra profundamente en la madera por lo que su acción se centra en la superficie, quema las células de la superficie sin calentarla y provoca que se degrade la lignina y se pierda cohesión entre las fibras, haciendo que se desfibre y que tome un color grisáceo. La fotodegradación afecta principalmente la zona más blanda de la madera dejando surcos más profundos (Peraza, 2001)

La **radiación infrarroja** provoca el calentamiento de la zona donde incide pero sin quemarla originando una pérdida de humedad superficial provocando una diferencia de humedad entre la superficie y el interior que se traduce en tensiones internas entre una superficie que tenderá a contraerse al disminuir su contenido de humedad por la acción del calor y un interior que no se lo permite lo que favorece la aparición de microgrietas. (Peraza, 2001)

La **lluvia** produce el mismo efecto sobre la madera, provoca un aumento del contenido de humedad en la superficie que será superior al del interior de la

pieza lo que provoca que la superficie de la madera tenderá a hincharse en mayor medida que la parte interior. Este gradiente de humedad origina tensiones superficiales que conduce a la aparición de fisuras y grietas. (Peraza, 2001)

Frente a los agentes destructores la principal forma de actuar es a través de un diseño arquitectónico adecuado y una protección superficial antes de que sea expuesta a los agentes atmosféricos, situación factible si nos referimos a los agentes abióticos pero se vuelve imposible garantizar la durabilidad de una construcción con relación al ataque de hongos e insectos con las condicionantes climáticas del Uruguay (altos porcentajes de humedad relativa, abundantes lluvias distribuidas casi uniformemente en el año y clima templado) por lo que se recurre siempre a un tratamiento preventivo.

3.2. Agentes bióticos

Los agentes bióticos destructores de la madera pertenecen tanto al reino vegetal (hongos) como al reino animal (insectos) reciben el nombre de agentes xilófagos ya que se alimentan de los compuestos de la madera, lo que provoca su degradación.

3.2.1. Hongos xilófagos

Los hongos que atacan a la madera reciben el nombre de hongos xilófagos e incluye a aquellos cuya acción modifica exclusivamente el aspecto y sobre todo el color (hongos cromógenos) y los que modifican las propiedades mecánicas y físicas (hongos de pudrición). Las esporas de los hongos xilófagos se encuentran en abundancia en el aire y la tierra esperando las condiciones favorables para su desarrollo. De las esporas emergen las hifas, que se introducen en la madera para alimentarse de sustancias de reserva del interior de las células y/o segregar enzimas que producen la descomposición de la pared celular.

Para el desarrollo de estos organismos es indispensable la existencia de oxígeno, cantidades elevadas de agua, temperatura para actuar y ausencia de sustancias tóxicas, naturales o introducidas artificialmente.

Las condiciones óptimas para el ataque de hongos ocurren cuando el contenido de humedad se sitúa por encima del punto de saturación de las fibras, entre 30 y 50%, pero contenidos por encima del 20% permiten el desenvolvimiento de hongos.

La temperatura ideal para el desarrollo de los hongos se sitúa en torno a los 25°C, pero el ataque puede ocurrir con temperaturas de 10 a 40°C, cesando toda actividad por debajo de 3°C y por encima de 40°C.

La presencia de oxígeno, aunque pequeña, es indispensable. Algunos hongos sobreviven en atmósferas con 1% de oxígeno, pero en general

concentraciones bajas restringe su desarrollo y la ausencia de él inhibe el ataque a la madera. (Tuset, 1979, Cavalcante, 1985)

Los **hongos cromógenos** provocan una coloración de la madera causada por la refracción de la luz en las hifas del hongo. La coloración más frecuente que producen en las coníferas es la conocida como mancha azul, que si bien tiene poca importancia desde el punto de vista de las propiedades físico-mecánicas tiene repercusión desde el punto de vista estético y económico.

Estos hongos se alimentan de las sustancias de reserva depositadas en las células de la albura sin producir degradación de la pared celular. Las hifas penetran por los radios leñosos sin secreción de enzimas, es por esta razón que estos hongos alteran muy poco las propiedades físico-mecánicas, salvo que el ataque sea muy severo.

Los **hongos de pudrición** afecta notablemente las propiedades mecánicas, en particular la resistencia estática y dinámica, ya que atacan a la celulosa y a la lignina, pero necesitan humedad para su desarrollo por lo que toda madera debe ponerse seca en obra y mantenerse en ese estado. Si no se tienen garantías de evitar la humidificación se recomienda un tratamiento preventivo con un protector fungicida.

Los hongos causantes de la **pudrición blanca** descomponen todos los elementos de la pared celular, hemicelulosa, celulosa y lignina mediante la acción de sus enzimas. El aspecto final que presenta la madera atacada es el de una masa amorfa y blanquecina. Los ataques se producen en maderas que son humedecidas permanentemente como en zonas de goteras o en cabezas de vigas que apoyan en muros con humedades de capilaridad.

Los hongos causantes de la **pudrición parda** atacan con sus enzimas solamente la celulosa, dejando intacta la lignina, El resultado de su ataque es una madera de color oscuro sin resistencia a cualquier tipo de esfuerzo y que se deshace en las tres direcciones de ahí que se la conozca también como pudrición cúbica.

La **pudrición blanda** es originada por hongos inferiores y aparece frecuentemente en maderas que se encuentran en contacto con el suelo. Estos hongos provocan en la madera una consistencia blanda como la de un queso fresco de allí su nombre. (Tuset, 1979)

3.2.2. Insectos xilófagos

Los insectos se pueden agrupar en aquellos que causan daño en árboles en pie o recién talados; madera de aserrío y productos de la madera durante el estacionamiento o almacenamiento y madera en uso

Los insectos que nos interesa son los que atacan madera seca en uso en obras de arquitectura reciente y de muchos años. Estos insectos pertenecen al orden de los Coleopteros y de los Isopteros.

Los insectos del **orden Coleoptera** muestran formas y tamaños extremadamente diversos. Casi todos ellos pueden ser reconocidos por su tegumento endurecido y el primer par de alas coriáceas. El aparato bucal es masticador y los ojos pueden o no estar. El desarrollo es a través de una metamorfosis completa, durante su ciclo de vida cambian de forma pasando por cuatro estados sucesivos de desarrollo, huevo, larva, pupa e insecto adulto o imago. El tiempo requerido para el desarrollo es diferente para cada especie. Los estados de huevo, pupa e imago son por lo general de corta duración y van de varios días a semanas, el tiempo más largo corresponde al estado larvario y es la etapa durante la cual lleva a cabo la degradación de la madera para alimentarse.

El ataque de estos insectos se desarrolla generalmente por túneles o cavidades a menudo conteniendo aserrín; orificios de varias formas y tamaños, aserrín formando pequeñas pilas debajo o en la superficie de la madera infestada indicando que los insectos han emergido recientemente de la madera o bien que se encuentran vivos dentro de ella.

Algunas de las coleopteras son especies autóctonas que vivían en árboles nativos y que actualmente se adaptaron para vivir sobre las plantas cultivadas. Otras son plagas exóticas que se han introducido y establecido en el país y constituyen las plagas más destructivas.

Los miembros del **orden Isoptera** se caracterizan por tener una metamorfosis incompleta, siendo sus estados: huevo, ninfa y adulto. A este orden pertenecen las termitas, se identificaron a la fecha más de 2000 especies.

Las termitas son insectos primitivos que resaltan por su compleja vida social, con individuos morfológicamente diferentes según las castas, cada una de ellas cumple una función determinada. Los individuos reproductores tienen alas, en cambio los obreros y los soldados son ápteros y estériles. Los sexuales tienen el tegumento endurecido, coloración oscura y ojos desarrollados. Son los encargados de la reproducción y su comportamiento garantiza la creación de nuevas sociedades. Los obreros (machos y hembras) son pequeños de cuerpo blando y coloración blanca o amarillenta, a menudo los ojos están ausentes. Forman la mayor parte de la población, cumpliendo la casi totalidad de las funciones de la colonia, construcción del nido, búsqueda de alimentos y su distribución a las otras castas. Son las que cavan galerías en la madera destruyéndola. Los soldados (machos y hembras) tienen cabeza grande, en unos las mandíbulas son poderosas y en otros esta ausente. En muchas especies los soldados cuentan con una glándula frontal que tiene fines defensivos. La mayoría de las especies tienen la facultad de digerir la celulosa por medio de microorganismos presentes en su tracto digestivo.

Los nidos difieren ampliamente en complejidad y ubicación, propia de cada especie. A veces son simples galerías en la madera, en otros casos se trata de elaboradas construcciones recorridas en su interior por innumerables cámaras y galerías. Son construidos de tierra cementada con saliva y excrementos, lo que constituye un material muy resistente.

La fundación de una nueva colonia se da cuando en cierta época del año, los sexuados abandonan el nido, se desprenden de las alas y tras formar la pareja ocurre la cópula.

A diferencia de las hormigas las colonias de termitas están formadas por un rey y una reina, esta última reconocible por el gran tamaño que adquiere el abdomen a causa de su función reproductiva. Ambos suelen ser muy longevos. Las reinas de ciertas especies son muy prolíferas llegando a depositar cientos de huevos por día. (Bentancourt,1999, Morales,1991, Peraza,2001, Tuset, 1979)

3.3. Insectos presentes en Uruguay

Las principales especies presentes en Uruguay que atacan la madera en uso son:

3.3.1. Insectos de ciclo larvario

3.3.1.1. *Anobium punctatum* De geer (Coleoptera: familia Anobiidae)

Nombre común, carcoma de la madera o escarabajo. Los adultos miden de 2 a 5 mm de largo y tienen coloración uniforme que va del castaño rojizo al castaño oscuro.



Fig. 3.1 – Adulto de *A. punctatum*

[Fuente: Guía de Insectos y Acaros de importancia forestal en Uruguay]

Ataca madera seca alimentándose de albura y duramen de coníferas y latifoliadas. Tiene la facultad de desarrollarse sobre madera con muchos años de procesada a la que destruye o daña seriamente. Las larvas son muy pequeñas, en forma de C, con el cuerpo blando y de color blanco, viven en el interior de la madera y labran galerías que se entrecruzan y la destruyen totalmente dejando abundante excremento a modo de polvo granulado. Únicamente una delgada capa exterior de la madera no es destruida.



Fig. 3.2 – Larva de *A. punctatum*
[Fuente: Protección preventiva de la Madera]

Los adultos no se alimentan y el daño que realizan se limita a orificios circulares de 1.5 a 2 mm de diámetro que son realizados para abandonar la madera. Síntomas de la presencia de este insecto son los orificios sobre la madera y el abundante polvo de textura granulosa que cae del interior. En tanto los adultos no abandonan la madera no hay evidencia externa de su presencia.



Fig. 3.3 – Orificios de salida y polvo de *A. punctatum*
[Fuente: Guía de Insectos y Acaros de importancia forestal en Uruguay]

Estos pequeños escarabajos viven de dos a cuatro semanas. Las hembras copulan e inician la oviposición a las pocas horas de haber emergido. Es frecuente que ovipongan en la misma madera por lo que se da una reinfestación de la misma. Los huevos son colocados sobre la madera en grietas o en los orificios de salida de los adultos. Una hembra ovipone un promedio de 30 huevos con un máximo de 80. Las larvas cuando emergen penetran a la madera donde inician la construcción de las galerías que alcanzan un diámetro máximo de 1 a 2 mm. Viven de uno a dos años y al final de su ciclo se ubican por debajo de la superficie de la madera donde forman una cámara pupal. La pupa permanece en esta cámara tres o cuatro semanas donde emergen como adultos hacia el exterior perforando la madera. Viven en colonias muy numerosas, las galerías larvales se entrecruzan en todas direcciones, los adultos vuelven a atacar la misma madera de la cual proceden. Las galerías están llenas de aserrín el cual es más grueso que el producido por los líctidos. (Bentancourt, 1999)

3.3.1.2. Hylotrupes bajulus Linneo (Coleoptera: familia Cerambycidae).
Nombre común, carcoma grande. El adulto mide de 10 a 22 mm de largo. La coloración varía de pardo amarillento a pardo oscuro casi negro.



Fig. 3.4 – Adulto de *H. bajulus*, con frecuencia muestra variaciones sensibles en su tamaño
[Fuente: Guía de Insectos y Acaros de importancia forestal en Uruguay]

Atacan madera seca, estacionada o ya elaborada de coníferas. Las larvas muestran preferencia por la albura. A menudo el ataque se inicia antes de que la madera sea industrializada. Por lo largo del ciclo y la pequeñez inicial de las larvas no se visualizan signos de ataque hasta un año después de haber ocurrido el mismo. Las larvas efectúan galerías de sección ovalada y de hasta 9 mm de ancho produciendo un abundante aserrín fino.



Fig. 3.5 – Larva de *H. bajulus*
[Fuente: Protección preventiva de la Madera]

La superficie exterior de la madera permanece intacta y el único signo de su existencia es un leve sonido o chasquido que produce la larva cuando se alimenta. La etapa pupal se cumple en el interior próximo a la superficie, aproximadamente tres semanas más tarde emerge el adulto. El daño visible es el que produce el adulto al emerger al exterior perforando la madera con orificios ovales. Esta especie puede reinfestar la madera. Los adultos copulan una vez que abandonan la madera y viven un promedio de una semana. La hembra ovipone en grietas o fisuras y deposita promedialmente de 40 a 50 con un máximo de 200 huevos. Las larvas cuando emergen penetran a la madera iniciando las galerías. La duración del desarrollo larval varía entre dos y cinco años, pero si la madera es muy seca y poco nutritiva puede extenderse hasta más de 15 años.

3.3.1.3 *Lyctus brunneus* Stephens (Coleoptera: familia Bostrichidae)

Nombre común, polilla de la madera. El adulto mide de 3 a 6 mm de largo y 1.1 a 1.5 mm de ancho. El cuerpo es alargado y algo aplanado de color pardo amarillento o pardo oscuro.



Fig. 3.6 – Adulto de *L. brunneus*
[Fuente: Protección preventiva de la Madera]

Ataca principalmente albura seca (8 a 30% de contenido de humedad) de latifoliadas con alto contenido de almidón como el eucaliptos. Las larvas efectúan galerías longitudinales siguiendo el sentido de las fibras de la madera. Los daños consisten en reducir a la madera en un fino polvo como el talco quedando intacta la superficie exterior. El único signo externo del ataque aparece cuando salen los adultos al exterior dejando orificios generalmente no mayor a 1.4 mm de diámetro de forma circular u oval y pequeñas pilas de aserrín fino como talco debajo de la madera infestada.



Fig. 3.7 – Adultos de *L. brunneus* junto a los orificios de salida
[Fuente: Guía de Insectos y Acaros de importancia forestal en Uruguay]

Se diferencia del *Anobium* porque los orificios de salida son más pequeños y el polvo es más fino. Los adultos que pueden volar lo hacen generalmente durante el crepúsculo y la noche. Viven de dos a tres semanas, siendo las hembras más longevas que los machos. Las hembras inician la oviposición dos o tres días después de haber copulado. Oviponen en los poros expuestos de la albura colocando de dos a cinco huevos en el interior de los vasos. Una hembra pone aproximadamente de 70 a 80 huevos. Las larvas cuando emergen comienzan a labrar las galerías en la madera que aumenta su diámetro a medida que estas crecen. La larva desarrollada es blanca con la cabeza oscura, tiene forma de C siendo la parte anterior del cuerpo más gruesa que la posterior.



Fig. 3.8 – Larva de *L. brunneus*
[Fuente: Protección preventiva de la Madera]

Cuando se encuentra al final del período se aproxima a la superficie de la madera y construye una cámara pupal de donde va a emerger el adulto perforando la madera. Dependiendo de las condiciones ambientales de temperatura y humedad y del contenido de almidón pueden haber una o dos generaciones en el año.

3.3.2. Insectos sociales

3.3.2.1. *Reticulitermes lucifugus* Rossi (Isoptera: familia Rhinotermitidae)
Nombre común, termita. Es una especie de termita de vida subterránea que produce daños de gran intensidad en madera seca y sana utilizada en las construcciones. La tierra les aporta la oscuridad, una temperatura moderada y humedad relativamente constante necesaria para su desarrollo. El nombre *lucifugus* hace referencia a que huyen de la luz. Esta especie de termita al igual que las otras son insectos sociales que viven en comunidades con una organización social en castas parecida a la de las hormigas y abejas. Consta de reproductoras primarias, reproductoras complementarias, obreras y soldados. La casta más numerosa es la obrera que tiene como función primordial la construcción de galerías y es la responsable de los daños presentes en la madera. Los daños principales se registraron en zócalos, pisos, marcos y puertas de madera de viviendas, escuelas y locales comerciales.



Foto 3.9 - Larva de obrera y soldado de *R. lucifugus*
[Fuente: I Curso de Construcción en Madera]

Se alimentan de albura y duramen de madera seca o en proceso de secado de coníferas y latifoliadas, y en general de toda sustancia que contenga una importante proporción de celulosa como el papel y ciertas semillas cuando están almacenadas. Su termitero principal lo construyen en la tierra fuera del edificio al que entran subterráneamente construyendo termiteros secundarios. Estos termiteros secundarios son el medio para llegar a las piezas de madera; contruidos con saliva, excremento y tierra llegan a ser importantes estructuras de tamaño y diseño variados desarrollados sobre paredes y techos de materiales duros como albañilería y hormigón armado.



Foto 3.10 – Colonia de *R. lucifugus*
[Fuente: Protección preventiva de la Madera]

En la madera realizan cavidades paralelas que siguen la dirección de la fibra y que tapizan de un material constituido de saliva, excremento y partículas de madera que hace que su presencia no se pueda percibir hasta que los daños son irreparables. Dejan una capa superficial intacta de 1 a 2 mm de espesor que les oculta del exterior. La madera dañada por termita presenta un aspecto de hojaldre por las tiras de madera que dejan entre las galerías. (Bentancourt,1999, Peraza,2001)



Foto 3.11 – Madera dañada por termita. Se aprecia el aspecto de láminas
[Fuente: Guía de Insectos y Acaros de importancia forestal en Uruguay]

En general cuando se detecta la infestación los daños son tan importantes que las piezas atacadas son inutilizables y deben ser sustituidas. (Bentancourt, 1999)

Esta especie en el Uruguay fue declarada plaga en 1989. En la actualidad se identifican infestaciones por el área de la costa desde el centro de Montevideo hasta Punta del Este.

Esta especie que no se registra en ningún otro sitio de las Américas nos hace pensar que es exótica y que ha llegado a nuestro país procedente del extranjero por una importación de artículos de madera. (Aber,1989,1990, 1993)

Se registra su distribución en Europa mediterránea, Norte de Africa, Este de Asia, Isla Madeira y Uruguay (Edwards & Mill, 1986, Aber & Fontes, 1993)

El ataque de los insectos es independiente de las condiciones de puesta en obra, ya que a diferencia de lo que ocurre con los hongos, el factor humedad interviene muy poco en su desarrollo. “Estas termitas dañan madera sólida no descompuesta que contiene muy poca humedad” (Ebeling, 1968; Kofoid 1934) Esto tiene una consecuencia muy importante pues ninguna medida de tipo arquitectónico puede proteger la madera de sus ataques, ante lo cual los tratamientos preventivos se hacen obligatorios.

La mejor manera de proteger la madera de los termites es su impregnación previa a la puesta en servicio con productos que sean insecticidas y fungicidas a la vez y las sales de CCA aparecen como la respuesta más confiable (Baillod,1991, 1992).

En la Tabla 3.1 se presenta una síntesis de las principales características de los insectos xilófagos presentes en Uruguay que permite una primera identificación

TABLA 3.1 - Características de los insectos xilófagos presentes en Uruguay

		Anobium punctatum	Hylotrupes bajulus	Lyctus brunneus	Reticulitermes lucifugus
Nombre común		Carcoma	Carcoma grande	Polilla de la madera	Termita
Tamaño insecto adulto		2 a 5 mm	10 a 22 mm	3 a 6 mm	
Madera	tipo	latifoliadas y coníferas	coníferas	latifoliadas	latifoliadas y coníferas
	zona	albura y duramen	albura	albura	albura y duramen
Aserrín		granular grueso	granular fino	muy fino y pulverulento	-----
Orificio de salida	forma	circular	oval	circular u oval	-----
	tamaño	1.5 a 2 mm	2x4 a 4x7mm	0.5 a 2 mm	-----
Reinfestación		si	si	si	-----
Condición de la madera		seca	en proceso de secado y seca	en proceso de secado y seca	en proceso de secado y seca

BIBLIOGRAFÍA

Aber, A. 1990 “*Estudio sobre las Construcciones de Reticulitermes lucifugus (Isoptera, Rhinotermitidae) plaga en la zona de Carrasco norte, Montevideo, Uruguay*”. Revta bras. Ent. 34(3) pp 481-487

Aber,A. et al. 1991 “*Termites in Uruguay: Control, prevention and environment*” The International Research Group on Wood Preservation, 22nd Annual Meeting, Kyoto, Japan, n1474, 11p.

Aber, A, 1992 “*Termites (Isoptera) que causan infestación en Uruguay*”. Anales del 1er Simposio de Termitólogos del Mercosur, Montevideo, Uruguay

Aber,A. et al. 1993 “*Reticulitermes lucifugus (Isoptera, Rhinotermitidae) a pest of wooden structures, is introduced into the South American Continent*”. Sociobiology Vol.21 No.3, pp 335-339

Baillod,G. 1992. “*Protección de la madera contra termites – aspectos ambientales*”. Anales del 1er Simposio de Termitólogos del Mercosur, Montevideo, Uruguay

Bentancourt, C. et al. 1999 “*Guía de Insectos y ácaros de importancia agrícola y forestal en el Uruguay*”. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo

Cavalcante, M. 1985 “*Deterioração Biológica e Preservação de Madeiras*” IPT, San Pablo, 40p.

Edwards, R. et al. 1986 “*Termites in Buildings*”. Kentokill Ltd. England, 261p.

Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988 “*Manual del grupo Andino para la preservación de la madera*”. Lima. 360 p.

Morales, E. 1991 “*I Curso de Construcción en Madera*” Demarcación en Sevilla del Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental, España pp 141-167

Peraza, F. 2001 “*Protección preventiva de la madera*”. AITIM, Madrid 437 p.

Pérez Galaz,V. 1991 “*Manual de Construcción en Madera*”. Instituto Forestal. 2°ed. Vol1. Santiago pp 5/3- 5/37.

Tuset, R. et al. 1979 “*Manual de Maderas comerciales, Equipos y Procesos de utilización*” Hemisferio Sur, Montevideo. pp.471- 503

CAPÍTULO 4 - PRESERVACION

4.1. Impregnabilidad y durabilidad natural

La impregnación permite prolongar la vida útil de la madera de especies que presentan menor durabilidad natural, la mayoría de estas especies se pueden tratar con éxito logrando una protección adecuada.

La impregnabilidad de una especie es la capacidad que presenta para que un líquido como un preservante pueda penetrar en su interior. La cantidad de producto que entra en la madera está muy relacionada con su estructura anatómica, dimensión, forma y número de células por unidad de volumen y la capacidad de las mismas para transportar líquidos. En general la madera de albura se impregna mejor y más fácilmente, independientemente del comportamiento que tenga su duramen, aunque existen casos en los que es muy difícil impregnar la madera de albura.

La cantidad de producto que entra depende del método de tratamiento aplicado. Las mayores penetraciones se consiguen forzando la entrada del producto a base de presión. El volumen máximo de producto que puede penetrar depende del espacio libre que existe en el interior de la madera.

El peso específico teórico de la madera sin aire en su interior es aproximadamente de unos 1200 kg/m^3 , por lo que conociendo el peso específico de la madera a utilizar se puede calcular teóricamente la cantidad de producto líquido que se puede introducir. (Peraza, 2001)

Para el caso de nuestro pino cuyo $P_e \approx 450 \text{ kg/m}^3$ podría absorber hasta su saturación teóricamente 750 l/m^3 de producto, aunque en la práctica se obtienen absorciones de producto mucho menores.

Los preservantes son sustancias químicas que permiten obtener de la madera una mayor resistencia a los agentes destructores sobre todo en especies que presentan menor durabilidad natural. La durabilidad natural se define precisamente como la capacidad que tiene una madera de resistir la degradación frente a los agentes destructores. (Peraza, 2001)

La madera de albura y de duramen presentan distinta resistencia a los agentes destructores, en la albura suele encontrarse sustancias de reserva como azúcares y almidones que la hacen especialmente apetecible para los hongos e insectos xilófagos, por el contrario la madera de duramen contiene otro tipo de sustancias propias del proceso de duraminización que tienen en algunos casos propiedades inhibitoras para el desarrollo de estos organismos, como aceites esenciales, resinas, taninos, gomas, compuestos fenólicos y sustancias hidrosolubles, de alta toxicidad. (Tuset, 1979)

La norma UNE EN 350-2 suministra información sobre durabilidad natural y la impregnabilidad, por los métodos de vacío-presión, en función de la clase de riesgo. La norma UNE EN 335-1 y 335-2 definen las 5 clases de riesgo a que puede estar sometida la madera maciza en función de su utilización.

Tomando a la termita por ser el insecto declarado plaga en el país y a la clase de riesgo 3 donde el elemento de madera se encuentra al exterior, no cubierto, sin contacto con el suelo y a una humidificación frecuente, la norma plantea tanto para coníferas como para frondosas a la albura como no durable o siempre atacable, y al duramen que depende de la especie.

Asimilando nuestro pino al *Pinus radiata* plantea que la albura es clase de impregnabilidad 1 (muy fácil de impregnar) y el duramen clase 2 (fácil de impregnar) y para el *Eucalyptus globulus*, que es más denso que el *grandis*, la albura clase 1 y el duramen clase 3 (difícil de impregnar).

En general, aunque con excepciones, las especies que son más fáciles de impregnar son las que tienen una durabilidad natural menor. (Peraza, 2001)

4.2. Características del preservante

Las principales características de un preservante son: poseer propiedades fungicidas y/o insecticidas respecto a los organismos xilófagos, mantener su protección en el tiempo según las condiciones de exposición de la madera, ser de fácil introducción por el procedimiento adecuado y no alterar las propiedades de la madera exigidas para el uso a que vaya a ser destinado.

La norma NCh 786.Of95 clasifica los preservantes de acuerdo a su origen y composición química en 3 grupos: creosotas, productos orgánicos y productos inorgánicos.

Los preservantes inorgánicos están constituidos por sales múltiples con poder fungicida e insecticida y un fijador que impide su lixiviación de la madera tratada.

La ventaja de este grupo de preservantes es la de conocer perfectamente sus componentes y porcentajes en la formulación. Además se transporta en forma concentrada (polvo o pasta) ya que permite el uso de agua como disolvente, no son citotóxicos, no aumentan la inflamabilidad ni imparten olores a la madera y permiten buenos acabados

Su desventaja es la de humedecer la madera lo que obliga a volver a secar las piezas tratadas

Las sales preservantes más comunes son las que utilizan el cobre como elemento fungicida, el arsénico o boro como insecticida y al cromo como fijador, son las Arsénico- Cobre- Amoniacales (ACA), Cupro-Cromo-Arsenicales (CCA) y Cupro-Cromo-Bóricas (CCB).

La toxicidad de las sales se expresa como factor Oxido, es la sumatoria de los pesos porcentuales de cada componente, expresados como óxidos ya que son éstos los que determinan la actividad tóxica de la sal.

La retención mínima fijada para los diferentes usos de la madera tratada se refiere siempre a las sustancias óxidas. Esto se hace con el fin de obtener

una base objetiva de retención. (Manual de grupo Andino para la preservación de la madera, 1988)

De los preservantes hidrosolubles el predominantes hoy en el mercado mundial son las sales de CCA (cobre, cromo, arsénico) porque poseen el factor óxido o índice de retención más alto (Deon,1973, Arsenault,1975). Son las más eficientes en la protección de la madera en contacto directo con el suelo y bajo las condiciones más desfavorables.

El estudio realizado por Arsenault es el más completo sobre la permanencia, efectividad, durabilidad de la madera tratada con CCA, se realizó sobre maderas utilizadas en las fundaciones de viviendas y consideró aspectos ambientales. El estudio concluyó que no había lixiviado significativo de los componentes del preservante y que no había peligro ambiental para el agua subterránea, suelo, plantas o animales.

El CCA se introduce dentro de la madera mediante un tratamiento a presión forzada en autoclave empleando el método de la célula llena, Bethell (vacío-presión-vacío). Se aplica a maderas secas y permite alcanzar mayores retenciones del producto. Este sistema consta de un vacío inicial que permite extraer parte del aire de la madera, posteriormente una inyección del preservante a presión que ocupará el lugar del vacío extraído y por último de un vacío final que regula la retención de protector introducido. Los componentes químicos presentes reaccionan con la madera y se fijan en la pared de la célula y se transforman en insolubles al agua no habiendo lixiviación de los productos activos que actúan como fungicidas e insecticidas.(Tuset, 1979)

El preservante utilizado para la impregnación de la lamelas fue sales de cromo-cobre-arsénico, tipo C con un 70% de óxidos activos, comúnmente llamado CCA tipo C por ser de las CCA las de mayor poder de fijación y permanencia (Hedley,1984). La composición del preservante es de acuerdo a la norma NCh 790. Of95

TABLA 4.1- Composición óxidos activos en preservante CCA tipo c

Elementos activos	Oxidos Tipo C (%)		
	Mín.	Prom.	Máx.
Cromo hexavalente CrO ₃	44.5	47.5	50.5
Cobre bivalente CuO	17.0	18.5	21.0
Arsénico pentavalente As ₂ O ₅	30.0	34.0	38.0

4.3. Evaluación del grado de protección

La evaluación del grado de protección que se le da a una madera se realiza midiendo la absorción y penetración de los preservantes empleados en los procesos de impregnación.

4.3.1. Absorción

Es la cantidad total de preservante que queda en la madera después de la impregnación. La absorción depende del sistema de impregnación utilizado, de la humedad y características de la madera a tratar y de la naturaleza del preservante.

Los tratamientos de vacío presión requieren que la madera este seca, por debajo del punto de saturación de las fibras, para que pueda absorber el preservante.

No obstante existen métodos de tratamiento como los de capilaridad, ósmosis y difusión, que requieren un alto contenido de humedad en la madera ya que el agua es el medio para que el preservante penetre y se difunda.

La naturaleza de los productos químicos tiene influencia en la absorción. Los hidrosolubles seguidos de las creosotas y los orgánicos son los que presentan mayores absorciones.

Se diferencia la absorción bruta, cantidad total de preservante que entra en una madera al finalizar el tratamiento, de la absorción neta, cantidad real de preservante que ha quedado en el interior de una pieza de madera. La absorción neta es similar a la retención.

La absorción se expresa en kg/m³ y se determina por la diferencia de peso antes y después del tratamiento por unidad de volumen. En el caso de los preservantes con concentración definida como los hidrosolubles se multiplica por el % de concentración

$$A = \frac{P_1 - P_0}{V} * \frac{C}{100}$$

A - absorción expresada en kg/m³

P₁ - peso de la madera después del tratamiento, en kg

P₀ - peso de la madera antes del tratamiento, en kg

V - volumen de la madera, en m³

C - concentración del preservante, en %

4.3.2. Penetración

Es la profundidad que alcanza el preservante en la madera tratada. La penetración depende sobretodo del grado de viscosidad del producto químico, de las características y contenido de humedad de la madera y del método de tratamiento utilizado.

La viscosidad alta como la de la creosota impide la rápida penetración pero si se aplica una temperatura adecuada en el proceso de impregnación se facilita la penetración por reducción de la viscosidad obteniendo un alto porcentaje de penetración.

Los hidrosolubles a pesar de poseer viscosidad baja, por factores de tensión superficial y la incapacidad de mojar por completo la pared celular son los que menos penetran.

La humedad de la madera, en la mayoría de los casos, es un obstáculo para la penetrabilidad. Para que la inyección sea profunda la madera debe estar seca y descortezada. No obstante existen métodos de tratamiento como los de capilaridad, ósmosis y difusión, que requieren un alto contenido de humedad ya que el agua es el medio para que el preservante penetre y se difunda.

Las características de la madera es un factor fundamental en la penetración ya que existen maderas con un alto peso específico o baja porosidad, o sus conductos se hallan taponados por gomas o resinas, lo cual las hace impenetrables.

Cuanto más profunda es la zona de penetración mejor será la protección de la madera.

4.3.3. Retención

Es la cantidad de óxidos del preservante que ha quedado en la madera después del tratamiento. La retención es equivalente a la absorción neta y se expresa en quilos de sustancias óxidas por m^3 de madera.

Hay maderas que son impregnadas en su totalidad, como el pino, mientras que otras como el eucalipto, sólo es posible impregnar la albura a presiones normales. Esto es recogido en las normas internacionales cuando definen los valores de retención en madera de eucalipto, se plantea como exigencia la retención mínima en albura en kg/m^3 . (Manual de grupo Andino para la preservación de la madera, 1988)

Uruguay cuenta con un proyecto de norma “Maderas preservadas con CCA-C en el Uruguay”, propuesto por Asociación de Preservadores, para la impregnación de madera por el método vacío-presión.

Se basa en normas existentes internacionales en función de la especie, y propone para el:

- Pino, tomar como referencia las normas de la AWWPA (American Wood Preservers Association) que determinan la retención mínima requerida en función del uso de la madera (interior, exterior, en contacto con agua dulce o salada) y de la sustancia a utilizar.

Para el caso en estudio, madera al exterior, sin contacto con el suelo, en condiciones húmedas o secas, preservada con sales de CCA tipo C, determina una retención mínima de $6,4 kg/m^3$

- Eucalipto, tomar como referencia las normas Australian Standards que determina la retención mínima según el tipo de riesgo.

Para el caso en estudio corresponde R2, uso exterior sin contacto con el suelo, preservada con sales de CCA tipo C, determina una retención mínima de $7 kg/m^3$ de madera de albura.

BIBLIOGRAFÍA

Arsenault, R.D. 1975. "A study of permanence, effectiveness, durability and environmental considerations" CCA- treated Wood Foundations. AWWA pp.71-126

Asociación de Preservadores de Uruguay. 1999 Proyecto de Norma. Maderas Preservadas con CCA-C en el Uruguay.

Deon, G. 1973. "Etude chimique de la resistance au delavage de sept produits de preservation du bois hydrosolubles". Material und Organismen 8, No.4 pp.296-318

Hedley, M.E. 1984. "A review of the effect of formulation of copper-chrome-arsenate preservatives on performance in ground contact and proposais for differentials in retention depending upon formulation". Proceedings New Zealand Wood Preservers Association 24 pp.48-64

Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. "Manual del grupo Andino para la preservación de la madera". Lima. 360 p.

Peraza, F. 2001 "Protección preventiva de la madera". AITIM, Madrid 437 p.

Pérez Galaz, V. 1991 "Manual de Construcción en Madera". Instituto Forestal. 2°ed. Vol1. Santiago pp 5/3- 5/37.

Tuset, R. et al. 1979 "Manual de Maderas comerciales, Equipos y Procesos de utilización" Hemisferio Sur, Montevideo. pp 505- 583

Asociación Española de Normalización y Certificación 1993. Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1: Generalidades UNE-EN 335-1

Asociación Española de Normalización y Certificación 1995 Durabilidad de la madera y de los materiales derivados. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera. UNE-EN 350-1

Asociación Española de Normalización y Certificación 1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa. UNE-EN 350-2

Instituto Nacional de Normalización. 1995. Madera. Preservación. Clasificación de los preservantes. NCh 786 Of95

Instituto Nacional de Normalización. 1995. Madera. Composición y requisitos de los preservantes para madera. NCh 790 Of95

CAPÍTULO 5 - ADHERENCIA

5.1. Nociones teóricas sobre la adhesión de madera

El encolado de madera ha sido practicado desde tiempos remotos, al principio fueron usadas sustancias naturales y preparaciones de estas como alquitranes, gomas, ceras de abejas, pieles animales y huesos, a partir de las primeras décadas del siglo XX la industria química ha desarrollado los adhesivos o resinas sintéticas.

La madera es probablemente el primer material que fue juntado para propósitos estructurales, mientras que otras uniones estructurales tuvieron que esperar la llamada edad de los adhesivos que comenzó aproximadamente a la mitad de la Segunda Guerra Mundial (Hemming, 1966).

A principios de la década de 1940 el fenómeno de adhesión, estado en el cual dos superficies se mantienen unidas, se explicaba a través del concepto de la adherencia mecánica.

Actualmente se sabe que es un proceso complejo y que la adhesión es debida a una unión mecánica, fuerzas físicas de atracción molecular y al desarrollo de uniones químicas entre la madera y el adhesivo (Tsoumis,1991)

El grado de desarrollo al cual llegan las fuerzas valentes y la adherencia mecánica entre el adhesivo y la madera es incierta pero se las reconocen a ambas como esenciales para una unión más efectiva (Vick,2003)

Hay otros autores que consideran que la principal razón de la adhesión es debida al desarrollo de la atracción molecular y plantean que cualquier penetración debida a la porosidad aumentará la fuerza de la unión únicamente porque se puede tener, de esta manera, áreas mayores para el humectado y la adhesión específica. Como resultado de la penetración puede haber una acción de refuerzo pero como un efecto secundario (Hemming,1966,Tsoumis,1991).

El desarrollo de uniones químicas entre la madera y el adhesivo es también tema en discusión.

La formación de uniones primarias químicas entre madera y adhesivo también es posible, especialmente con adhesivos que contengan formaldehído (Tsoumis, 1991).

Si bien los enlaces químicos covalentes entre los polímeros del adhesivo y la estructura molecular de la madera parece una posibilidad, no hay evidencias claras de que esos enlaces constituyan un mecanismo importante en la unión adhesiva de maderas (Vick,2003).

La teoría de la adhesión mecánica considera que el adhesivo al principio líquido penetra en las capas superiores de la madera, en las cavidades y paredes de las células entre las microfibras donde se solidifica y ancla.

La adhesión mecánica es probablemente el principal mecanismo por el cual los adhesivos adhieren a estructuras porosas como la madera (Vick,2003)

Esta visión no explica la posibilidad de encolar ciertos materiales como vidrio o madera de alta densidad. También se ha comprobado que una unión encolada entre dos superficies lisas puede tener una resistencia a la tracción mayor que una película independiente de la misma cola. Estos hechos indican que existe otro tipo de adherencia que recibe el nombre de adherencia específica y que se debe a las fuerzas de atracción molecular entre el adhesivo y las superficies unidas, y que es independiente de que el adhesivo penetre o no en los cuerpos que se van a unir. (Perez, V, 1991, Tsoumis, 1991).

La adherencia específica está relacionada con las fuerzas de atracción molecular entre madera y adhesivo compuesta por tres atracciones intermoleculares:

- fuerzas de Van der Waal que se originan por la atracción de dos dipolos
- fuerzas de Londres que se originan por la atracción que las moléculas no polares tienen entre sí
- fuerzas de hidrógeno, un tipo especial de fuerzas dipolar-dipolar, esta unión es importante en la atracción interfacial de los polímeros del adhesivo con la hemicelulosa y celulosa. (Hemming, 1966, Vick, 2003)

5.2. Factores de adhesión

Además del tipo de adhesivo, los principales factores que afectan la adhesión o calidad de la junta son la condición de la superficie de la madera, su humedecimiento por el adhesivo y el contenido de humedad de la madera (Tsoumis, 1991).

5.2.1. Condiciones de la superficie de la madera

La condición de la superficie es una variable a considerar en la unión con adhesivo. Comprende tres grupos diferentes de fenómenos:

- Geometría de la superficie o topografía o rugosidad.
- Los aspectos físico-químicos que se deben a las particularidades de las especies, porosidad, capilaridad, extraíbles.
- El grado de deterioro mecánico de la superficie ocasionado por la forma de preparación, aserrado, cepillado, etc., que puede ocasionar el desgarramiento de las células desprendiéndose las fibras de la superficie.

El hecho de que estos fenómenos se superpongan los unos a los otros explica por que los problemas concernientes a las propiedades superficiales son de considerable complejidad y de estudio reciente.

De acuerdo a la teoría de adhesión específica para producir fuerzas de atracción molecular es necesario que las superficies a encolar se encuentren lisas y limpias. En la práctica no se pueden producir superficies perfectamente lisas con materiales como la madera debido a su estructura anatómica (morfología celular, madera de primavera y de verano, etc.).

La madera de primavera más porosa y menos densa, y la de verano menos porosa y más densa. El rol de establecer el contacto es tomado por el adhesivo quien conecta las irregularidades de las superficies.

Las superficies de la madera pueden parecer lisas y planas pero examinándolas microscópicamente se encuentran picos, valles y hendiduras que son obstáculos para el correcto humedecimiento por parte del adhesivo.

K. Suchsland estudió la rugosidad en madera de pino. Para la valoración cuantitativa de la rugosidad utilizó un factor R definido por:

$$R = \frac{A}{a} \quad \text{donde } A = \text{área de superficie real}$$
$$a = \text{área de superficie aparente}$$

El factor R indica las veces que es mayor el área real de la superficie que el área aparente. En el caso de pino estableció un $R = 1.15$ para madera de primavera y $R = 1.85$ para madera de verano. La resistencia de la unión se incrementa a medida que el factor de rugosidad R aumenta como consecuencia de un aumento del área disponible para la unión.

Marian y otros estudiaron la influencia de la rugosidad de la superficie debido a la estructura anatómica sobre la resistencia de la unión. Analizaron juntas de madera de primavera con madera de primavera y madera de verano con madera de verano y mixtas.

Las uniones de madera de primavera realizadas con adhesivo de resorcina rompieron normalmente por la madera, mientras que la madera de verano dio regularmente fallos de adherencia.

Swenson y Ljung investigaron la influencia de la rugosidad sobre la calidad de la unión en los metales y en la madera.

Para los metales establecieron que la resistencia al esfuerzo de corte de la unión aumenta hasta cierta profundidad del perfil, alrededor de 15 a 20 μ , a partir de la cual se reduce la resistencia por el aumento de espesor de la película de adhesivo. En la figura 5.1 se grafica la variación del esfuerzo de corte en función de la profundidad del perfil.

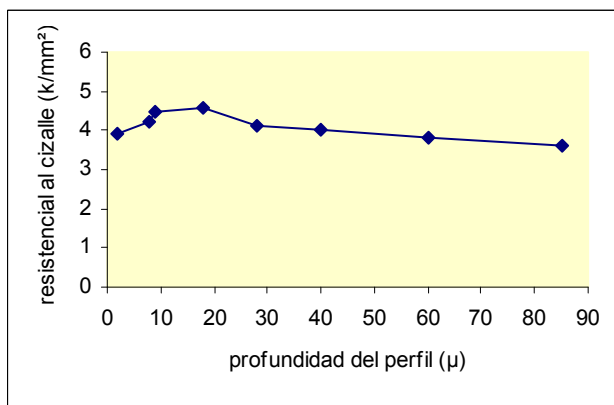


Fig.5.1 - Resistencia al esfuerzo cortante de juntas metálicas en función de la profundidad del perfil [Fuente: Enciclopedia de la Química Industrial]

En el caso de la madera el factor que reduce la resistencia es la propia morfología de la madera, determinaron que la resistencia de la unión encolada aumenta con la profundidad de la rugosidad de las superficies serradas hasta que se alcanza el punto en el cual la resistencia decreciente de la madera debido a una disminución de la densidad entre la madera de verano y la de primavera, ocasiona su rotura. (Houwink, 1985)

Para algunos autores el desarrollo de las fuerzas de atracción entre adhesivo y madera requiere que las superficies estén limpias, libres de extractivos, polvo y suciedad atmosférica que obstruyen la formación de juntas fuertes. El envejecimiento de la superficie reduce la humectabilidad y la encolabilidad (Tsounis,1991, Vick,2003).

La influencia práctica del envejecimiento parece ser discutible. Las normas alemanas DIN prescriben que las superficies a encolar deben ser preparadas mediante cepillado poco tiempo antes de ser encoladas para sacar los extractivos y otros contaminantes físicos y químicos que interfieren con el encolado, sin embargo otras normas como las del American Institute of Timber Construction no contienen exigencias relativas a la pérdida de encolabilidad de las superficies envejecidas (Houwink, 1985)

5.2.2. Humedecimiento

El humedecimiento de la madera por un adhesivo se mide por el ángulo de contacto entre una gota de adhesivo y la superficie de la madera. Este ángulo debe aproximarse a cero para producir juntas fuertes.

El humedecimiento se ve afectados por factores relativos al adhesivo (tensión superficial, viscosidad) y a la madera (densidad, porosidad, extractivos). Las maderas de baja densidad o alta porosidad son mejor humedecidas. La madera de duramen generalmente contiene más extractivos que la madera de albura la que proporciona una mayor repelencia al agua. Maderas resinosas exigen mayor control en la limpieza de las superficies a adherir debido a que la resina con el tiempo tiende a oxidarse en la superficie lo que dificulta el humedecimiento (Tsoumis, 1991).

Para que una superficie sea perfectamente humectable la tensión superficial del adhesivo tiene que ser menor que la de la superficie que se trata de mojar.

Si una gota de adhesivo se esparce en una capa delgada con un ángulo de contacto que tiende a cero, el adhesivo se ha esparcido bien y ha producido un contacto íntimo con las superficies. (Braude, 1947, Vick,2003).

El humedecimiento esta también afectado por las hendiduras que presentan las superficies de la madera que causan bolsillos de aire. Por ello el adhesivo líquido debe tener alta mojabilidad asociada a una viscosidad que pueda producir un alto flujo capilar que pueda penetrar la estructura de la madera mientras desplaza el aire y contaminantes de la superficie.

Se utiliza presión como forma de elevar el humedecimiento a través de forzar que el adhesivo líquido fluya a través de la superficie desplace el aire y penetre en la madera. (Tsoumis,1991, Vick,2003)

La figura 5.2 muestra la mojabilidad de una gota de agua sobre distintas superficies de madera.

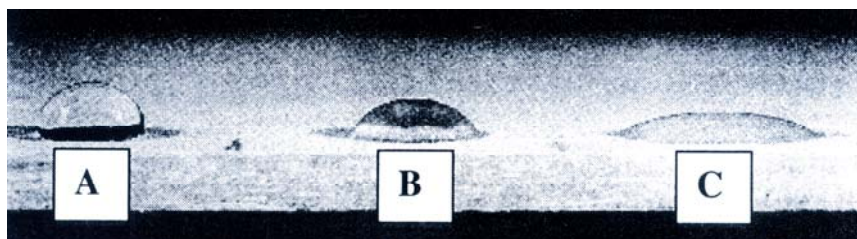


Fig. 5.2 – Diferencias de mojabilidad en superficie de madera
A – Superficie sin lijar, mayor ángulo de contacto
B – Superficie con dos pasadas de lija
C – Superficie con cuatro pasadas de lija, menor ángulo de contacto
[Fuente: Word Handbook, USDA]

5.2.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera juega un papel fundamental. El mismo depende del tipo de adhesivo a utilizar (acuoso o no) y procedimiento de encolado (presión caliente o fría)

Altos contenidos de humedad tiene un efecto adverso en las fuerzas de atracción, contribuye a la fluidez del adhesivo, a retrasar la eliminación del agua y a la formación de juntas débiles.

Muy bajos contenidos de humedad también causa problemas porque afecta el humedecimiento del adhesivo, obstruye su penetración y conduce a un fraguado prematuro.

Para cada tipo de cola existe una humedad óptima de la madera. En general debe ser baja entre 7 y 14%

Además del contenido de humedad importa su distribución, debe ser lo más uniforme posible tanto en la pieza de madera como entre piezas.

Los cambios de humedad provocados por el adhesivo trae aparejado un cambio dimensional que es mayor en sentido radial, le sigue el tangencial e insignificante en sentido longitudinal lo que produce fuerzas internas que pueden llegar a ser muy altas y que si se producen durante el período de fraguado se producirán fisuras permanentes en la continuidad de una junta obteniendo como resultado una unión final débil.

Estos esfuerzos difieren también en función de la especie siendo mayores en las maderas más densas (Tsoumis, 1991).

5.2.4. Otros factores

Otros requisitos que se deben tener en cuenta para una junta correcta son:

- la orientación relativa del sentido de la fibra para evitar apariciones de tensiones mecánicas internas.
- la temperatura de la madera pues tiene un efecto inmediato sobre el fraguado de la cola.
- la buena calidad del adhesivo y preparado adecuado cumpliendo con las instrucciones del fabricante

- esparcido uniforme y control de la cantidad de adhesivo aplicado. La cantidad de adhesivo es medido en gramos por metro cuadrado. El adhesivo se puede colocar en una de las caras a ser encolada (esparcido simple) como en ambas caras (esparcido doble). Líneas de cola más gruesas dan juntas de menor calidad debido a los vacíos que pueden resultar de la contracción del adhesivo o la inclusión de aire. Teóricamente una capa monomolecular es suficiente, sin embargo, en la práctica, el espesor mínimo es aproximadamente 0.1mm. La figura 5.3 muestra como la resistencia de las juntas se incrementan cuando el espesor del adhesivo es reducido.

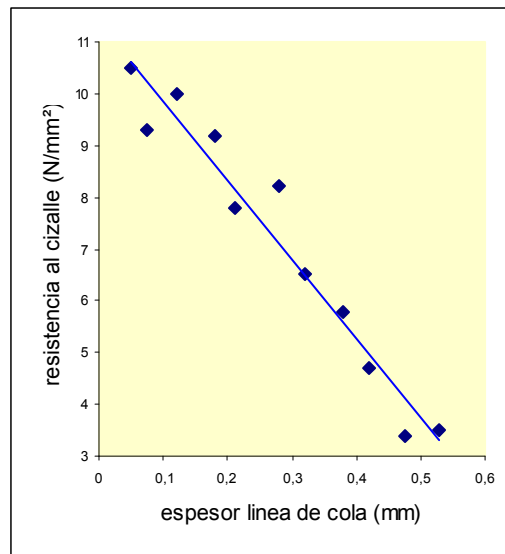


Fig. 5.3 – Resistencia al cizalle en función del espesor de la línea de cola [Fuente: Science and Technology of Wood]

- control del tiempo que interviene entre el esparcido y el ensamblado. En el tiempo de ensamblado se distingue el “ensamblado abierto” y el “ensamblado cerrado”. Tiempo de ensamblado abierto es el tiempo entre el esparcido y el contacto de las superficies a ser encoladas y cerrado entre el contacto y la aplicación de la presión. Durante el ensamblado abierto algunos solventes del adhesivo se evaporan, mientras que en el ensamblado cerrado el adhesivo puede endurecerse prematuramente, resultando en la producción de juntas débiles.
- presión adecuada, uniforme y ejercida durante tiempo suficiente. Se necesita presión para asegurar el mayor contacto entre las superficies a ser encoladas y para que el adhesivo forme una capa continua y de espesor uniforme. (Tsoumis,1991)

5.3. Adhesividad e impregnación con CCA

No existe acuerdo entre los investigadores sobre la encolabilidad de la madera impregnada con CCA.

Este tema ha sido investigado por Charles B. Vick , Hong Jian Zhang y otros.

Charles Vick plantea que las superficies de la madera pueden ser químicamente inactivas con respecto a la adhesión por la impregnación con preservantes, retardadores de fuego y estabilizadores dimensionales. La impregnación química interfiere con el correcto humedecimiento, la fluidez y la penetración del adhesivo.

Y generaliza diciendo que los adhesivos comerciales no adhieren a la madera tratada con CCA suficientemente bien como para cumplir con la resistencias a la delaminación exigida en las normas

Hong Jian Zhang realizó un estudio comparativo de encolabilidad con madera de pino del sur impregnada con CCA y no impregnada y adhesivo de resorcinol formaldehído. Sus conclusiones son que no hubo diferencias significativas en la exposición a condiciones climáticas aceleradas y en la resistencia al corte en la encolabilidad de la madera de pino del sur impregnada y no con CCA.

5.4. Clasificación de los adhesivos para madera

La clasificación que ha sido adoptada universalmente por la bibliografía especializada en el tema es la que se desarrolla a partir de la naturaleza del componente principal. Según esta clasificación tenemos:

5.4.1. Adhesivos naturales, son los fabricados a partir de sustancias orgánicas naturales. Estos a su vez se dividen en adhesivos de base albuminosa como la cola de glutina, cola de albúmina de sangre, cola de caseína, etc. y los fabricados a base de hidratos de carbono como los engrudos.

En las primeras décadas del siglo XX el uso de colas naturales era extensivo pues eran las únicas disponibles, pero las mismas fueron siendo remplazadas, casi en su totalidad, por los adhesivos sintéticos. Este reemplazo se debió a que las colas naturales carecían de durabilidad bajo condiciones adversas, mientras que las resinas sintéticas son superiores en resistencia a la humedad, altas temperaturas, a los microorganismos, etc. Entre las colas naturales solamente la caseína tiene actualmente aplicación en la industria de la madera.

5.4.2. Adhesivos a base de resinas sintéticas, son productos de la industria química cuyas materias primas son derivadas del petróleo o gases naturales. Estos a su vez se dividen en adhesivos a base de resinas sintéticas **termofraguables** como la urea-formaldehído, fenol- formaldehído, resorcinol- formaldehído, melamina- formaldehído y los que tienen como base resinas sintéticas **termoplásticas** como las emulsiones de acetato de polivinilo.

Las resinas termofraguables requieren calor o un catalizador para fraguar y no se vuelven a fundir si se les calienta de nuevo por lo que reciben también el nombre de termoestables.

Las resinas termoplásticas se mantienen blandas mientras se mantiene el calentamiento y endurecen cuando se enfrían. Estas resinas crean juntas de baja resistencia a la humedad y calor.

Las resinas sintéticas termoestables son mezcla de la resina propiamente dicha, el endurecedor y eventualmente otros productos, extendedores, con el propósito de reducir su costo o modificar sus propiedades (Tsoumis, 1991).

Generalmente encontramos los siguientes ingredientes:

- resina o adhesivo: sustancia capaz de unir materiales por agarre superficial.
- endurecedor o catalizador: sustancia que inicia la reacción química y el fraguado sin que sea necesario alcanzar temperaturas elevadas.
- extendedores: sustancia agregada para reducir la cantidad de ligante primario requerido por unidad de área. Puede tener alguna acción adhesiva pero su función principal es el abaratamiento del producto. Puede producir un retardo en el fraguado de la cola y una reducción de la resistencia a la intemperie del adhesivo.
- agua: vehículo que permite darle la viscosidad adecuada a la mezcla.

La normativa actual clasifica a los adhesivos en función de las exigencias climáticas durante la puesta en servicio medido según métodos de ensayos normalizados. Los ensayos requeridos son los de delaminación y de cizalle en el adhesivo por una fuerza de tracción o de compresión dependiendo de la norma. Similares a los desarrollados en el presente trabajo.

5.5. Características de los adhesivos de resorcinol

Las colas de resorcina son colas sintéticas basadas en resinas que presentan un muy buen comportamiento frente a los ambientes agresivos y son prácticamente insensible a la humedad, lo que ha impulsado su rápida expansión a pesar de su costo elevado.

Su uso se desarrolló en el encolado de madera laminada estructural para uso en el exterior o en ambientes agresivos por ser más durable que la propia madera. El Eurocódigo 5 define al resorcinol formaldehído como cola adecuada para la construcción de estructuras de madera laminada encolada expuestas a condiciones climáticas de alto riesgo.

Su desarrollo se dio durante la segunda guerra mundial frente a la necesidad de disponer de un adhesivo de fraguado a temperatura ambiente y que diera uniones adecuadas para exposiciones al exterior.

Los adhesivos fenólicos requieren para fraguar a temperatura ambiente un ácido fuerte como endurecedor que tiende a debilitar la fibra de la madera adyacente a la línea de cola. El resorcinol es un adhesivo capaz de ser curado a temperatura ambiente, sustancialmente neutro e inofensivo para la fibra de madera que rinde uniones de la más alta durabilidad.

Actualmente existen dos tipos principales de adhesivos resorcinol: adhesivo de resorcinol puro y de fenol resorcinol. Los adhesivos de fenol resorcinol contienen generalmente alrededor de 15% de resina fenólica, su cura es más lenta y tiene un costo ligeramente más bajo.

Se les conoce como del tipo termofraguado, a pesar de que curan a temperatura ambiente, debido a que no se refunden o ablandan con el calor una vez curados. La desventaja que tiene es su alto costo y su color café oscuro. (Skeist, 1966)

5.5. Duración de las juntas de cola

Con el transcurso del tiempo, madera y adhesivo se deterioran en función de las condiciones a que está expuesto el elemento constructivo (temperatura, humedad, esfuerzos). El desempeño en el tiempo de un producto es la capacidad de resistir la pérdida de sus propiedades mecánicas medidas sobre el tiempo de exposición. Un producto durable es aquel que muestra una pérdida no muy grande de sus propiedades durante su vida en servicio en relación a la madera utilizada.

Muchos adhesivos tienen décadas de desempeño documentado en diferentes ambientes, por eso es posible predecir con un alto grado de certeza su desempeño a largo plazo. Los nuevos adhesivos no tienen un historial de comportamiento a largo plazo en condiciones de servicio ambientales por lo cual exposiciones aceleradas de laboratorio con ciclos de humedad, calor y esfuerzos son usadas para estimar el desempeño a largo plazo. (Vick, 2003)

La figura 5.4 muestra el comportamiento en el tiempo de distintos adhesivos expuestos a condiciones de uso en el exterior. Estudio realizado en pequeñas probetas expuestas directamente al exterior muestra el comportamiento superior del adhesivo de resorcina frente a otros adhesivos estructurales,

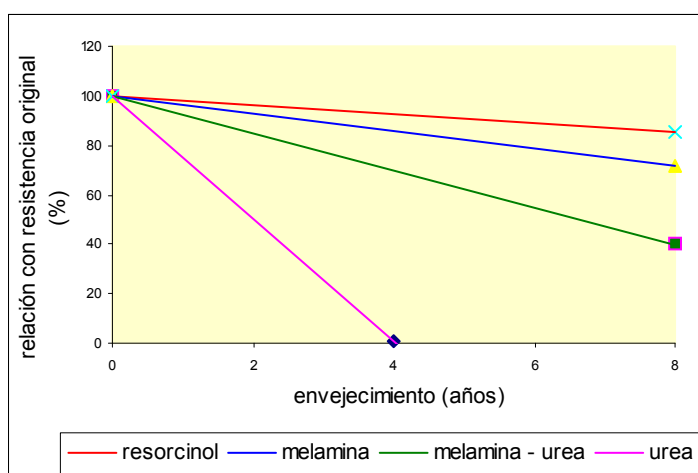


Fig. 5.4 – Deterioro de la resistencia de la unión adhesiva expuesta a condiciones atmosféricas
[Fuente: Adhesive Bonding of Wood Materials, 2003]

BIBLIOGRAFÍA

Braude, F. 1947. *Adhesivos*. Ediciones del Tridente. Buenos Aires. pp. 12-22

Centre Technique du Bois. *Las Colas para madera y su empleo*. Cuaderno n°55. AITIM serie C. 85pp

Hemming, Ch. 1966. *Encolado de madera. Adhesivos de resina resorcinol. Manual de Adhesivos*. Cap. 23,43. Editorial Continental S.A. México. pp 295-297, 479-484

Houwink, R. et al. 1985. *Adherencia y adhesivos. Enciclopedia de la Química Industrial*. Tomo 4.Vol.2. Urmo S.A. Bilbao. pp 197- 214

Marian, J. et al. 1958 “*Surface texture of Wood as related to glue joint strength*” Forest Prod. J. Vol 8

Pérez,V. 1991. *Manual de Construcción en Madera*. Vol2. Instituto Forestal. 2°ed. Santiago pp. 9/11-9/15

1992 “*Manual de Madera Laminada*” Instituto Forestal, Santiago pp.61-71

Skeist, I. 1966. *Manual de Adhesivos*. Editorial Continental S.A. México. pp19-25, 43-56

Suchsland, K. 1957 “*Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Festigkeit einer Elimverbindung am Beispiel der Holzverleimung*” Holz Roh-Werkstoff, 15

Swenson, S. et al. 1951 “*Limning av metaller*” Thesis, Roy Technol. Univ. Estocolmo

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood*. Chapman and Hall. New York . pp. 327-338

Universidad del Bío Bío - *Los Adhesivos en el proceso de Laminación*. 4to Diplomado en Diseño y Construcción en Madera.

Vick, Ch. 2003. *Adhesive Bonding of Wood Materials*. Wood Handbook, USDA. Chapter 9, pp 1-23

Zhang, H. et al. 1997. *Surface tension, adhesive wettability, and bondability of artificially weathered CCA-treated southern pine*. Forest Products Journal. Vol. 47 No.10 pp 69-72

CAPITULO 6 – MATERIALES Y METODO

6.1. Madera

La madera utilizada en la fabricación de las vigas laminadas fue de pino *elliottii* y *eucaliptus grandis*. La elección de estas dos especies estuvo determinada por ser los géneros mayoritarios en la superficie forestada del país y ser actualmente la mayor oferta disponible, tal como se mencionó anteriormente.

La selección de la madera se realizó de acuerdo a lo definido en la norma ASTM D 2559-76. La misma limita el tamaño máximo de los nudos a 3.18 mm y la inclinación de la fibra a no más de 1 en 15, además debe estar libre de defectos de maquinado y secado.

Se realizó la selección de la madera en forma visual en función de sus defectos de crecimiento, de maquinado y secado. Se seleccionaron 36 lamelas de pino y 36 de eucalipto. Ninguna de las lamelas presentó defectos de maquinado o secado. De las 36 lamelas de pino 5 presentaron nudos firmes, algunos de ellos con un tamaño apenas mayor al definido por la norma, el resto de las lamelas no presentaron defectos. La inclinación de la fibra fue como máximo 1 en 15.

Se controló también las dimensiones y el contenido de humedad de cada lamela con un xilohigrómetro de agujas. El contenido de humedad se encontraba entre 9 y 14% y el tamaño de los anillos de crecimiento entre 0.7 y 1.5 anillos por centímetro.

De las 36 lamelas de eucalipto, 6 presentaron nudos firmes, algunos de ellos con un tamaño apenas mayor al definido por la norma, el resto no presentaron defectos. El contenido de humedad entre 11 y 14%. Estos datos se registraron en la bitácora de fabricación (Anexo I).

6.2. Preservante

El 50 % de las lamelas tanto de pino como de eucalipto fueron impregnadas con sales cromo-cupro-arsenicales tipo C por el método Bethell o vacío-presión-vacío, con una retención de 6.4 quilos de óxidos por m³ de madera en el caso del pino y 7 quilos por m³ de albura en el eucalipto. (Asociación de Preservadores del Uruguay, 1999, Proyecto de Norma)

6.3. Adhesivo

El adhesivo utilizado para la fabricación de las probetas fue Cascophen RS-216-M, resina sintética a base de resorcinol-formol, de secado a temperatura ambiente, especialmente recomendado para el encolado de maderas expuestas a agua fría o caliente, hongos, calor seco o húmedo, etc.

El endurecedor utilizado fue el recomendado en las especificaciones técnicas del fabricante, FM-60-M en la proporción en peso de 20 partes de endurecedor por 100 partes de resina. (Anexo II)

6.4. Fabricación de las vigas laminadas

La fabricación de las vigas estuvo a cargo de la empresa Palosolo. La elección de la empresa se debió a que a la fecha es la única que construye vigas laminadas de pino y eucalipto con adhesivos para exteriores. En esta etapa del trabajo se realizó el control del proceso productivo. Se relevaron las condiciones ambientales en el momento de la construcción de las probetas y los detalles técnicos concernientes al proceso de fabricación. Todos los datos fueron registrados en la Bitácora de fabricación (Anexo I)

Previo a comenzar el armado de las vigas se climatizó el local donde esta ubicada la prensa a una temperatura entre 24.3 °C y 25.4°C y un contenido de humedad entre 55% y 60%. Se mantuvo el ambiente climatizado durante el período de armado y prensado de las vigas.

Se controló el contenido de humedad de cada lamela y se presentaron las vigas, cada lamela fue previamente cepillada de forma de obtener caras perfectamente calibradas.

El contenido de humedad de las lamelas se encontraba entre 11 y 14% en las lamelas de eucalipto y entre 10 y 14% para las lamelas de pino. En ningún caso la variación entre laminas fue superior a 3%.

Cada viga de madera laminada se compone de seis lamelas de la misma especie de 1.90 x 13.97 x 101.6 cm (espesor x ancho x largo)

En el caso de las probetas de pino cada lamela se dispuso en forma alternada en función de la dirección de los anillos de crecimiento.

Para la construcción de las vigas de eucalipto se tuvo la dificultad de obtener lamelas exclusivamente de albura por ser mínimo el espesor de esta en una sección del rollo (2cm en un diámetro de 60cm). El duramen del eucalipto ofrece considerable resistencia a la penetración de líquidos, los que sólo pueden penetrar aplicando presiones muy elevadas. La mayoría de las lamelas que se obtuvieron tenían una sección perimetral de albura impregnada pero esto no se cumplió para el total de lamelas. Las vigas de eucalipto se armaron con la precaución de tener un máximo de lamelas con albura impregnada resultando entre 3 o 4 lamelas por viga.

El tamaño de las vigas resultó ser 13.97 x 11.40 x 101.6 cm (ancho x altura x largo).

Se controló la calidad y fecha de vencimiento del adhesivo, así como las proporciones, tiempo de mezclado y tiempo de montaje. La cantidad de adhesivo colocado en cada lámina se controló por medio de pesadas sucesivas, previo y después de aplicado el adhesivo.

El adhesivo fue esparcido en una de las caras de cada lamela y se aplicó con un rodillo mecánico. La cantidad promedio de adhesivo esparcido en cada lámina fue, en las lamelas de pino 543 g/m² y en las lamelas de eucalipto 464 g/m²



Fig 6.1 - Lamela con adhesivo de resorcina
[Foto: S. Torán]

Las lamelas con el adhesivo se fueron colocando directamente en la prensa para el armado de las vigas. En este proceso se controló el tiempo de armado de cada viga como después la presión dada en función del tipo de madera y la ubicación de las prensas de modo de asegurar una presión uniforme. Trabajaron cuatro operarios en el armado de las vigas por lo que se cumplió ampliamente con los tiempos máximos de montaje abierto y cerrado planteados en las especificaciones técnicas del fabricante.

La prensa es vertical y la presión se aplica con gatos hidráulicos y se controla con manómetro. Se colocaron por separado las vigas de pino y las de eucalipto.

La presión ejercida en las vigas de pino fue de 7 kg/cm^2 y en el caso de las vigas de eucalipto fue de 10 kg/cm^2 . Los platos tienen una dimensión de $45 \times 19,5 \text{ cm}$, con una separación entre ejes de 50 cm . Cada viga se prensó con dos platos separados entre sí 5 cm .

Se mantuvieron en la prensa durante toda la noche por lo que el tiempo de prensado fue aproximadamente de 15 hs con dos reaprietes a los 10 y 30 minutos.



Fig. 6.2 – Vigas a la izquierda colocadas en la prensa y a la derecha en el proceso de prensado [Foto: S. Torán]

Retiradas de la prensa se mantuvieron en reposo durante 10 días para ser luego trasladadas al laboratorio de la Facultad donde se cortaron las probetas y se realizaron los ensayos.

Número de vigas laminadas

Se prepararon seis vigas de pino y seis de eucalipto, tres de cada especie con tratamiento previo de impregnación y tres sin tratamiento de impregnación.

En la figura 6.1 se muestran dos de las vigas construidas, una de pino y una de eucalipto



Fig. 6.3 – Ejemplo de las vigas construidas
[Foto: M. Calone]

Obtención de las probetas para el ensayo de cizalle y delaminación

A efectos de determinar la influencia del preservante en las características mecánicas de la madera laminada-encolada se realizaron ensayos de cizalle y de delaminación.

Para realizar los ensayos se obtuvieron probetas de cada viga de acuerdo a la norma ASTM D 2559-76

Previo al corte de las probetas se retiró de ambos lados de la viga la sección necesaria para obtener un ancho uniforme de 12.70 cm y de cada extremo 7.62 cm. La viga resultante se cortó en cinco secciones. Tres secciones indicadas A de 10.16 cm para el ensayo de cizalle obtenidas de los extremos y el medio. Dos secciones indicadas B de 25.40 cm para el ensayo de delaminación.

La figura 6.4 muestra como se distribuyen las secciones A y B en la viga.

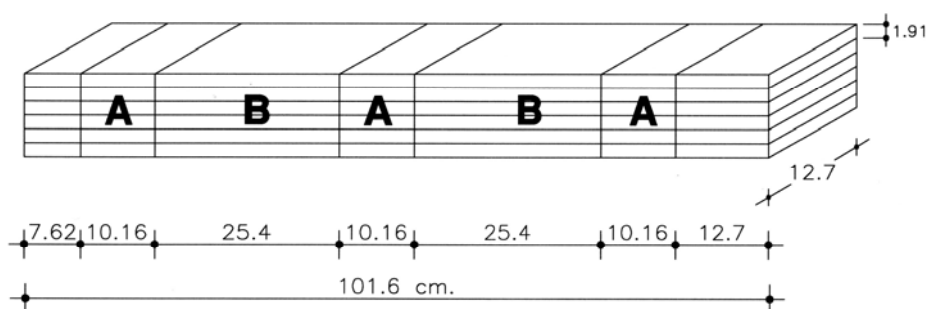


Fig. 6.4 – Ubicación en la viga de las secciones A y B

6.5. Ensayos físico-mecánicos

Los ensayos se realizaron de acuerdo con las normas ASTM D 2559-76 y la NCh 2148 Of 89.

6.5.1. Ensayo de cizalle a través del adhesivo

Este ensayo permite evaluar la calidad de la unión encolada mediante la resistencia al cizalle en la línea de cola y el porcentaje de falla de madera en el área cizallada.

El cizalle se define como medida de la capacidad de la madera y en este caso de la unión encolada para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra, adyacente a la anterior. La resistencia de la madera al cizalle depende de la orientación de las fuerzas aplicadas en relación a la dirección de las fibras. Se distinguen tres tipos de cizalle: longitudinal, transversal o normal y oblicuo. La experiencia muestra que en el cizalle transversal antes de que este alcance su resistencia máxima se produce una compresión transversal produciendo un rompimiento de fibras. Es así, que en la práctica solamente se toma en cuenta el cizalle longitudinal o paralelo, que es el que más afecta especialmente en piezas ensambladas (Karsulovic, 1982)¹

El método consiste en someter a cizalle el plano de encolado mediante la aplicación de una carga de compresión paralela a la fibra de la madera que se incrementa gradualmente hasta llegar al punto de falla de la probeta.

De cada una de las secciones de 10.16 cm se cortaron 2 probetas escalonadas, 2 de las líneas de encolado exteriores y 2 de la línea de encolado central. De cada viga se obtuvieron 6 probetas. En total se ensayaron 18 probetas de madera impregnada y 18 de madera sin impregnar por cada especie. Cada probeta escalonada se obtuvo de una sección transversal completa de la viga, contiene 5 líneas de encolado. En total se ensayaron 90 líneas de cola de madera impregnada y 90 de madera sin impregnar por cada especie. Se identificó cada probeta y sus lamelas con el número de la viga y su ubicación en la misma.

Las dimensiones de la probeta escalonada es de 5.00 x 4.50 cm y cada lámina se va desfasando con respecto a la anterior generando un escalón de 0.6 cm por lo que el área de cizalle resulta ser de 5.00 x 3.90 cm, estas se cortaron de manera de que el escalón sea paralelo a la dirección de la fibra de la madera.

La figura 6.5 muestra como se obtuvieron de cada sección A dos probetas escalonadas dirigidas en el sentido de la fibra.

¹ Karsulovic, J. 1982 *Propiedades mecánicas de la madera* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile, Santiago

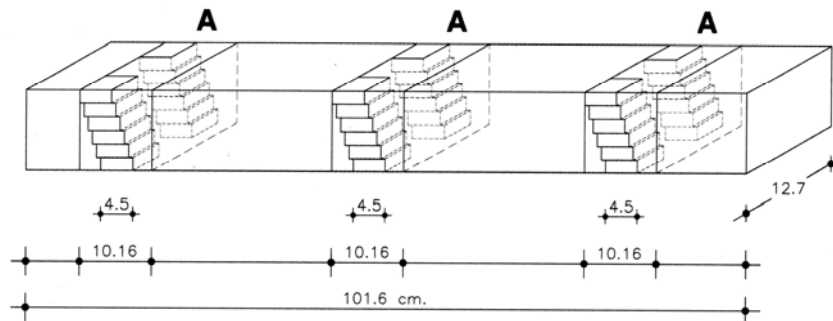


Fig. 6.5 – Extracción de probetas para el ensayo de cizalle



Fig. 6.6 – Probetas escalonadas de pino y eucalipto
[Foto: M. Calone]

Los ensayos se realizaron en una prensa de carga marca SOILTEST modelo CT-711 con capacidad de 90 Ton a la que se le colocó un manómetro marca CIMPA de rango 0-20 k/cm²

Las probetas se colocaron en el dispositivo de cizalle de tal forma que la carga actuó en dirección paralela a la fibra.



Fig. 6.7 – Dispositivo de cizalle ubicado en la prensa de carga
[Foto: M. Calone]

En la figura 6.8 se observa el esquema del ensayo de esfuerzo de cizalle donde la probeta se fija firmemente mediante dos platinas y a través de una tercer platina libre se ejerce la carga de forma manual.

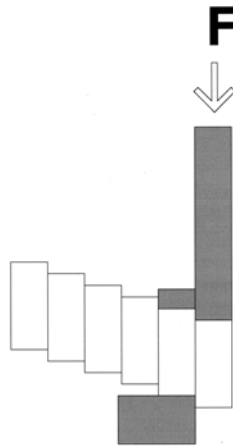


Fig. 6.8 - Esquema de ensayo de cizalle

De cada ensayo se registró la carga máxima para la cual se obtuvo la falla de la probeta y el área cizallada de madera, se calculó el porcentaje de madera fallada en el área sometida a cizalle y la resistencia al esfuerzo cortante.

$$f_v = \frac{F_{rot}}{A}$$

donde:

- f_v : resistencia al esfuerzo cortante
- F_{rot} : carga de rotura
- A : área sometida al esfuerzo cortante

6.5.2 Ensayo de ciclo de delaminación

Este ensayo permite medir los efectos de la intemperie sobre las líneas de encolado. Se somete a la probeta a un ciclo de vacío-inmersión-presión que simula un envejecimiento acelerado de exposición al medio ambiente.

El principio es originar tensiones interiores en la madera por medio de un gradiente de humedad, hinchazón y secado, para provocar tensiones de tracción perpendicular a las líneas de cola de tal forma que los encolados defectuosos sufrirán delaminaciones en dicha línea.

La delaminación es la separación de las láminas por falla en el adhesivo o en la interfase entre adhesivo y adherente. Si la adhesión resiste las fuerzas de delaminación la madera fallará adyacente a la línea de cola pero no en el adhesivo.

De cada una de las secciones de 25.40 cm se cortaron tres probetas de 7.60 cm, con la dimensión 7.60 cm paralela a la fibra de la madera. De cada viga se obtuvieron 6 probetas. En total se ensayaron 18 probetas de madera impregnada y 18 de madera sin impregnar por cada especie. En total se ensayaron 72 probetas.

Las dimensiones de cada probeta son: 7.60 cm x 12.70 cm x 6 lamelas. Cada probeta tiene cinco líneas de cola que fueron sometidas al ciclo de delaminación.

La figura 6.7 muestra como se obtuvieron de cada sección B tres probetas para el ensayo de delaminación.

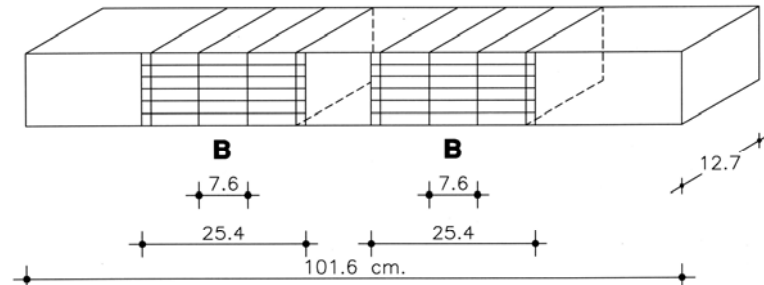


Fig. 6.9 - Extracción de probetas para el ensayo de delaminación

La figura 6.10 muestra las probetas de delaminación de pino sin impregnación y de eucalipto impregnado. Como se dijo anteriormente son tres las lamelas impregnadas en las probetas de eucalipto.

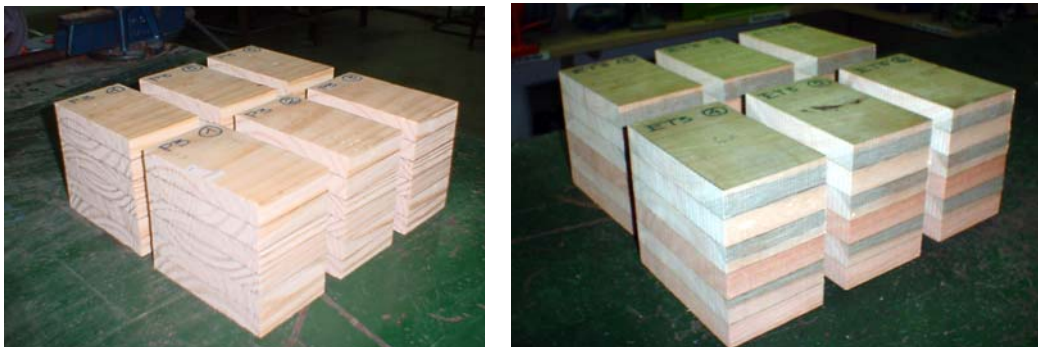


Fig. 6.10 – Probetas a la izquierda de pino y a la derecha de eucalipto impregnado para el ensayo de delaminación. [Foto: M. Calone]

La figura 6.11 muestra probetas de pino impregnado y sin impregnar. Se ven los anillos de crecimiento dispuestos en forma alternada.



Fig. 6.11 – Probetas de pino sin impregnar e impregnado. [Foto: M. Calone]

El ensayo consiste en colocar las probetas en un autoclave, producir un ciclo de vacío-inmersión-presión, secarlas y volver a repetir el ciclo de vacío-inmersión-presión y secado.

La figura 6.12 muestra el autoclave de laboratorio utilizado para realizar los ensayos de delaminación.

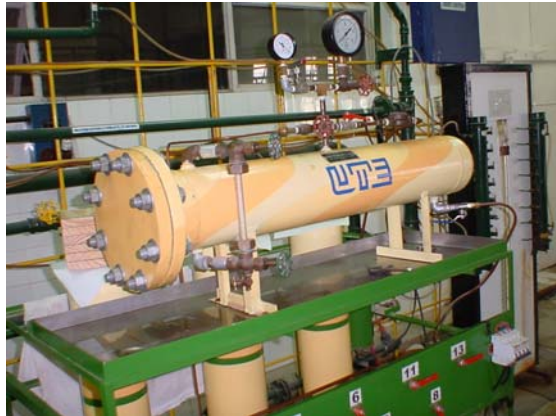


Fig. 6.12 – Autoclave para ensayo de delaminación
[Foto: M. Calone]

Previo al comienzo del ensayo se registró el peso de cada probeta con una balanza de precisión marca METTER TOLEDO PB1502, de capacidad 1500gr y aproximación 0.1gr y contenido de humedad con un xilohigrómetro de agujas marca PROTIMETER

Las probetas se colocaron en el autoclave con la precaución de que quedaran totalmente sumergidas y de que todas sus caras quedaran expuestas al agua.

El primer ciclo consistió en introducir las probetas en el autoclave de laboratorio marca ENGINEERING DIVISION WOOD TREATING CHEMICAL Co, Mo.63110, producir un vacío de 635 mm de Hg durante 30 min, al apagar la bomba de vacío, se abren las válvulas de los depósitos de agua y aprovechando el vacío se llena el autoclave y una vez lleno el tanque lo cual se visualiza por el tubo de nivel se comienza a dar presión. La presión ejercida fue de 5.27 k/cm² y se mantuvo durante 2 horas.

Al retirar las probetas del autoclave se colocaron en el horno durante 21 a 22 hs con una temperatura del aire que fluctuó entre 62.5°C y 68.5°C, con una humedad relativa de 8.3 a 9.7% y una velocidad de circulación de aire de 2.25 a 2.35 m/s

Las probetas se colocaron en el horno con sus cabezas paralelas al flujo de aire y con una separación entre ellas de unos 5cm.

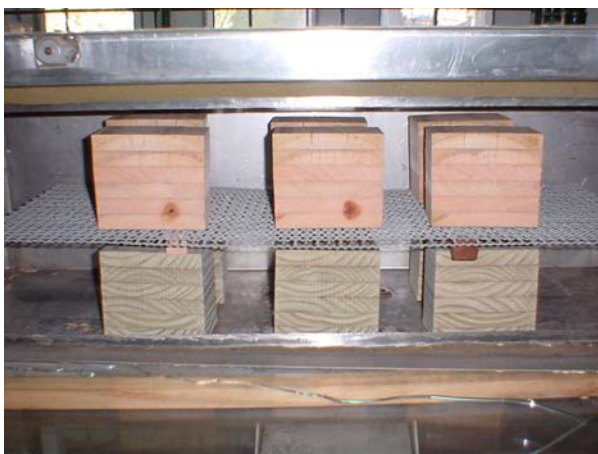


Fig. 6.13 – Probetas colocadas en el horno
[Foto: M. Calone]



Fig. 6.14 – Vista general del horno
[Foto: M. Calone]

Cumplidas las 21hs de horno se registró el peso de cada probeta y las delaminaciones y fisuras presentadas y se volvieron colocar en el autoclave para realizar el 2do ciclo.

El 2do ciclo fue igual al 1er ciclo con la diferencia de que la presión se aplicó por 40 min.

El ensayo completo significó de 42 a 44 hs de horno.

La calidad de las líneas de encolado es evaluada a través de la delaminación que se puede presentar en las cabezas de las probetas.

La delaminación se mide a lo largo de las líneas de encolado y se presenta como un porcentaje de la suma total de longitudes de las líneas de encolado que existen en las dos cabezas de la probeta

Para determinar cuando existe una manifestación de delaminación se consultó, la norma AITC 200-92², la cual establece como se mide la delaminación y en que condiciones, pero en ninguna parte del documento se

² American Institute of Timber Construction. 1992. Inspection Manual for Structural Glued Laminated Timber. AITC 200-92

define que se entiende por delaminación desde el punto de vista de la profundidad o de la intensidad de separación. El criterio adoptado para determinar la existencia de una delaminación fue el interpretarla como una separación física de la línea de encolado perceptible a simple vista, sin que importe su profundidad de penetración, sino que tan sólo su manifestación y su extensión a lo largo de la línea de encolado.

La extensión de una delaminación se determinó a través de la introducción de una hoja de papel.

6.5.3. Determinación de la densidad

El estudio de la densidad de la madera utilizada en la construcción de las vigas laminadas se realizó de acuerdo a la norma NCh 176/2 Of86 (Anexo III)

Las probetas para el estudio de la densidad se obtuvieron de las lamelas previamente ensayadas al cizalle. De esta manera se pudo obtener una relación entre los valores obtenidos en el ensayo al cizalle y la densidad del adherente.

Las dimensiones de las probetas fue de 2.00 x 2.00cm x el espesor de la lamela resultante luego de lijadas como forma de obtener un espesor uniforme.

De cada viga se obtuvieron 6 probetas. Se ensayaron 18 probetas de madera impregnada y 18 de madera sin impregnar por cada especie. En total se ensayaron 72 probetas. Cada probeta se identificó con el nombre de la viga y su ubicación en la misma.

Previo al proceso de secado las probetas se pesaron en una balanza de precisión marca CHYO MK-2000B, de capacidad 2000gr y aproximación 0.1gr.

Se colocaron en el horno a una temperatura de 100°C por 12 horas, se retiraron del horno, se dejaron enfriar en un desecador para proceder al pesado. Este procedimiento se repitió por dos períodos de 4 horas hasta que se obtuvo peso constante en dos pesadas consecutivas.

De inmediato se determinó el volumen de la madera anhidra.

Y se calculó la densidad anhidra de cada probeta con la siguiente fórmula:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{v_0}$$

donde:

ρ_0 : densidad anhidra

m_0 : masa de la probeta en condición anhidra

v_0 : volumen de la probeta en condición anhidra

6.6. Análisis Estadístico

Aunque se trata de un estudio exploratorio al disponer de más de 30 muestras para cada ensayo se debe realizar un análisis estadístico de los resultados, como son cálculo de promedios, desviaciones estándar, coeficientes de variación y aplicación de test comparativo de hipótesis nula como se describe a continuación. Ellos permiten detectar posibles diferencias entre las probetas con tratamiento y sin tratamiento de impregnación con sales de CCA tipo C.

6.6.1. Test concerniente a dos medias muestrales

Existen problemas estadísticos en los cuales se debe decidir si la diferencia observada entre dos medias muestrales puede o no ser atribuida a la aleatoriedad de las mismas. En el presente trabajo debimos decidir si hay diferencias significativas, no atribuibles al azar, entre las medias de los resultados experimentales obtenidos en una muestra de probetas de madera tratada químicamente y otra muestra de madera no tratada.

El estudio se realizó utilizando el programa Statistical Analysis Systems, SAS Institute Inc. SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513 USA.

El método aplicado, se basa en la siguiente teoría. Si \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son las medias de dos muestras aleatorias independientes grandes de tamaño n_1 y n_2 , la distribución muestral del estadístico $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ puede ser aproximada a una curva normal que tiene

media : $\mu_1 - \mu_2$; y

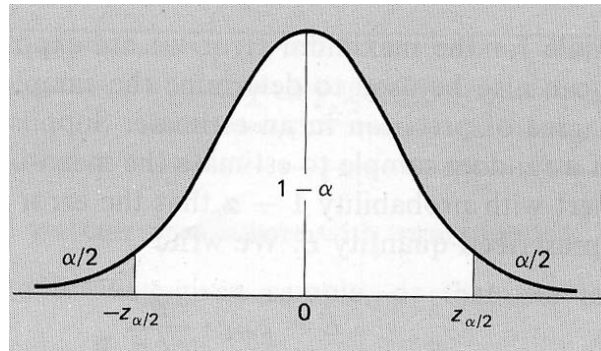
desviación desviaciones estándares : $\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$

donde μ_1 , μ_2 , σ_1 y σ_2 son las medias y las desviaciones estándares de las dos poblaciones de las cuales provienen las muestras. Se acostumbra definir la desviación estándar de esta distribución muestral como el "error estándar de la diferencia entre las dos medias".

En la mayoría de las situaciones prácticas σ_1 y σ_2 son desconocidos, pero si se tienen tamaños de muestras grandes ($n > 30$), se acostumbra usar las desviaciones estándares de las muestras s_1 y s_2 como estimadores de σ_1 y σ_2 y basar el test de la hipótesis nula " $\mu_1 - \mu_2 = 0$ " en el estadístico:

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

que tiene aproximadamente una distribución normal y el que junto a la hipótesis alternativa " $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ " conforman el criterio sobre el cual se basa el test, según el esquema de la figura siguiente.



El valor α corresponde al nivel de significancia del test que se fija en $\alpha=0.05$. Esto significa aceptar una probabilidad de hasta 0.05 de rechazar la hipótesis nula.

$z_{\alpha/2}$ es el valor para el que el área a la derecha, bajo la curva normal estándar es $\alpha/2$. Por lo tanto, de acuerdo al test, si $z < -z_{\alpha/2}$ o $z > z_{\alpha/2}$, la hipótesis nula de la igualdad de las medias debe ser rechazada, aceptándose la hipótesis alternativa. Inversamente, si $-z_{\alpha/2} < z < z_{\alpha/2}$ la hipótesis " $\mu_1 - \mu_2 = 0$ " no puede ser rechazada, no existe evidencia de que las medias de las dos poblaciones sean significativamente distintas.

De la curva normal: $z_{\alpha/2} = z_{0.025} = 1.96$
 $-z_{\alpha/2} = -z_{0.025} = -1.96$

BIBLIOGRAFIA

American Society for Testing and Materials. 1976. Adhesives for Structural Laminated Wood products for use under exterior. Exposure conditions. ASTM D 2559-76

Asociación de Preservadores de Uruguay. 1999 Proyecto de Norma. Maderas Preservadas con CCA-C en el Uruguay.

Instituto Nacional de Normalización. 1989. Madera laminada encolada estructural. Requisitos e inspección. NCh 2148.Of89

Instituto Nacional de Normalización. 1988. Madera Parte 2 Determinación de la densidad. NCh 176/2. Of86

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. 1970 Determinación del peso específico aparente en madera UNIT 237-70

Perez, V. 1992 *"Manual de Madera Laminada"* Instituto Forestal, Santiago pp.61- 71

CAPITULO 7 – RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Ensayo de ciclo de delaminación

Como se dijo anteriormente se construyeron 6 vigas de pino y 6 vigas de eucalipto, 3 de cada especie con tratamiento previo de impregnación y 3 sin tratamiento de impregnación. Para este ensayo se cortaron 6 probetas de 7.6 x 12.7 x 11.4 cm de cada viga, por lo que se realizaron 72 ensayaron, y como cada probeta tiene 5 líneas de cola, se evaluaron 360 laminaciones.

Este ensayo se desarrolló en dos ciclos de vacío-inmersión-presión y dos ciclos de secado en estufa como se describió en el capítulo de materiales y método.

La evaluación de este ensayo se dividió en dos partes, la primera, la más importante por ser el objetivo del ensayo, la evaluación del porcentaje de delaminación registrado en cada una de las vigas construidas y la segunda, la evaluación del aumento y disminución de peso obtenidos en cada probeta luego de cada ciclo de vacío-inmersión-presión y secado en estufa.

7.1.1. Resultados del ensayo de delaminación

La norma ASTM D2559 determina que una viga de madera laminada encolada para uso estructural en el exterior se acepta cuando, luego de los ensayos, la delaminación en la línea de cola en ambas caras de una probeta, es como máximo 5% para vigas de madera construidas con pino y de 8% para vigas construidas con eucalipto. También establece que no más del 20% de la delaminación total admisible puede ocurrir en cualquier línea de cola.

La norma NCh 2148 establece, para vigas de madera de Pino Radiata, luego de un primer ciclo de delaminación, 5% como delaminación máxima aceptable medida en ambas caras de una probeta, y si se hace un segundo ciclo igual al primero, la delaminación registrada no debe exceder de 10% en cada probeta.

Un resumen de los valores de delaminación registrada en cada probeta por tipo de viga se presenta en la tabla 7.1

Los valores obtenidos en cada ensayo se presentan en el Anexo 3

Tabla 7.1 – Porcentaje de delaminación por tipo de viga

VIGA	Delaminación registrada en cada probeta									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
P1	4				1		1			
P2	2			3		1				
P3	1		1		1	1	2			
PT1	4			2						
PT2	2			2		2				

PT3	3			2			1			
E1	2			1	1			1		1
E2	3			2			1			
E3	3						1	2		
ET1					2			2	2	
ET2				1		1	3		1	
ET3	1					1		1	1	2

7.1.2. Análisis de la delaminación registrada

De las 18 probetas de pino sin impregnación que se ensayaron, 39% no presentaron delaminación, 44% presentaron una delaminación aceptable y 17% presentaron una delaminación cercana a los requerimientos de la norma.

En el caso de las probetas de pino impregnadas, 50% no presentaron delaminación, 44% presentaron una delaminación aceptable y una probeta, 6%, presenta una delaminación apenas superior al límite definido por la norma.

En las probetas de eucalipto sin impregnación, 44% no presentaron delaminación, 50% presentaron una delaminación admitida y una probeta, el 6%, presenta una delaminación no admitida pero muy cercana a los requerimientos de la norma.

Con respecto a las probetas de eucalipto impregnadas, 6% no presentaron delaminación, 83% presentaron una delaminación admitida y dos probetas, el 11%, presentaron una delaminación cercana a los requerimientos de la norma pero no logra satisfacer las disposiciones de la misma.

También se observa que las probetas de madera de pino tanto impregnadas como sin impregnar tuvieron un comportamiento mejor frente al ensayo de delaminación que las probetas de eucalipto. No delaminaron el 44% de las probetas de pino frente a un 25% de las probetas de eucalipto.

Para ver la incidencia de la impregnación con sales de CCA tipo C en las delaminaciones presentadas se hace el estudio estadístico de las medias que nos permite decidir si las diferencias observadas pueden ser atribuidas al azar.

Las hipótesis planteadas fueron:

Hipótesis nula H_0 = no hay interacción entre el impregnado y la línea de cola
 Hipótesis alternativa H_A = si hay interacción entre el impregnado y la línea de cola

El nivel de significancia se fijó en $\alpha \leq 0.05$ lo cual significa que se rechaza la H_0 siempre que la probabilidad de equivocarme sea menor a 5%

Se identificó:

\bar{x}_1 = media de los valores de porcentaje de delaminación de las 18 probetas de pino o eucalipto sin impregnar

\bar{x}_2 = media de los valores de porcentaje de delaminación de las 18 probetas de pino o eucalipto impregnado

Para el análisis de los datos de porcentaje de delaminación se transformó la variable hallando un porcentaje de delaminación transformado igual a la raíz cuadrada del porcentaje de delaminación más 0.5

$$\% \text{ del. tr.} = \sqrt{\% \text{ del.} + 0.5}$$

Los valores obtenidos para la madera de pino fueron:

$$\bar{x}_1 = 1.5958$$

$$\bar{x}_2 = 1.3794$$

$$\alpha = 0.39$$

El valor medio de porcentaje de delaminación es mayor en las probetas de pino sin impregnar que en las impregnadas. El nivel de significancia es $\alpha = 0.39$, no se rechaza la hipótesis nula. Las diferencias en las medias se debieron al azar, por lo que el proceso de impregnación no afectó la calidad del encolado.

Los valores obtenidos para la madera de eucalipto fueron:

$$\bar{x}_1 = 1.6549$$

$$\bar{x}_2 = 2.5112$$

$$\alpha = 0.0021$$

El valor medio de porcentaje de delaminación es mayor en las probetas de eucalipto impregnado que en las no impregnadas. Se rechaza la hipótesis nula, $\alpha = 0.0021$, lo que significa que hay diferencias significativas entre las medias de las probetas de eucalipto sin impregnación y las impregnadas, por lo que el proceso de impregnación afectó la calidad del encolado.

El análisis realizado permitiría concluir que el preservante de CCA no tendría mayormente incidencia sobre la calidad del encolado en las vigas de madera laminada encolada realizadas con madera de pino, y que tendría una posible incidencia en las vigas construidas con madera de eucalipto.

La norma ASTM D2559 determina, además del porcentaje de delaminación admisible por probeta, una segunda condición que es que no más del 20% de la delaminación admisible se puede dar en una línea de cola, lo que significa 1% (0.76 cm) para las probetas de pino y 1.6% (1.2 cm) para las probetas de eucalipto. Esta disposición no se cumplió en ninguno de los ensayos realizados en las probetas de pino, y en las de eucalipto una sola de las delaminaciones registradas fue menor a 1.2cm.

Como se dijo anteriormente se evaluaron 360 líneas de cola, 180 por especie. Los valores obtenidos en cada ensayo se presentan en el Anexo 3.

El total de líneas delaminadas luego del segundo ciclo fue menor en las probetas de pino que en las de eucalipto. En las probetas de pino se delaminaron 21 líneas de cola, un 12%, y en las probetas de eucalipto se delaminaron 45 líneas de cola, lo que corresponde a un 25% del total de líneas encoladas.

La figura 7.1 muestra la forma de delaminación en las probetas de pino y de eucalipto. Se ve como comenzando en una línea de adhesivo continúa fisurando la madera.

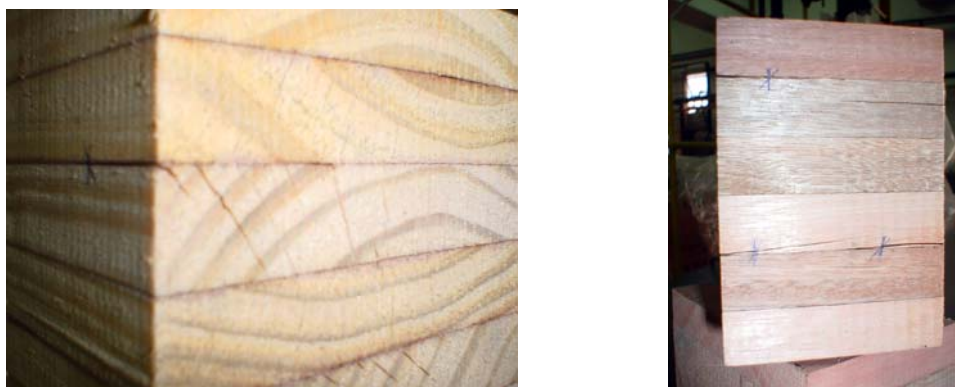


Fig. 7.1 – Tipo de delaminación, a la derecha en probeta de pino y a la izquierda de eucalipto [Foto: M. Calone]

Resulta interesante evaluar también la metodología empleada de acuerdo a la norma ASTM D2559-76 que dispone la realización de dos ciclos de vacío-inmersión-presión y secado, frente a la NCh 2148 Of89 que dispone la realización de un solo ciclo.

De las 21 líneas de cola delaminadas en las probetas de pino, el 43% aumenta el porcentaje de delaminación en el segundo ciclo y el 57% son delaminaciones nuevas.

De las 45 líneas de cola delaminadas en las probetas de eucalipto, el 80% aumenta el porcentaje de delaminación y el 20% son delaminaciones nuevas.

Este tema de la cantidad de ciclos a realizar definidos en las diferentes normas fue estudiado por Winandy y River³ quienes cuestionan la reducción del tiempo requerido para la realización de los ensayos especificado en algunas normas.

En la etapa de secado se desarrollaron numerosas fisuras superficiales mayoritariamente en las caras laterales de las probetas, principalmente en las de pino. Estas por lo general siguen una dirección perpendicular a los anillos de crecimiento. Las presentes en las cabezas de las probetas siguen una dirección aproximadamente paralela a las líneas de cola y próximas a ellas. En ambos casos terminan generalmente en una delaminación.

³ Winandy, J et al. 1986 *Evaluation of a method for testing adhesive-preservative compatibility*. Forest products journal, vol.36 n°1

También se presentaron fisuras de mayor espesor y profundidad (espesor ≈ 1 cm y profundidad ≈ 1 lamela) en las lamelas externas, sobre todo en las probetas de pino.

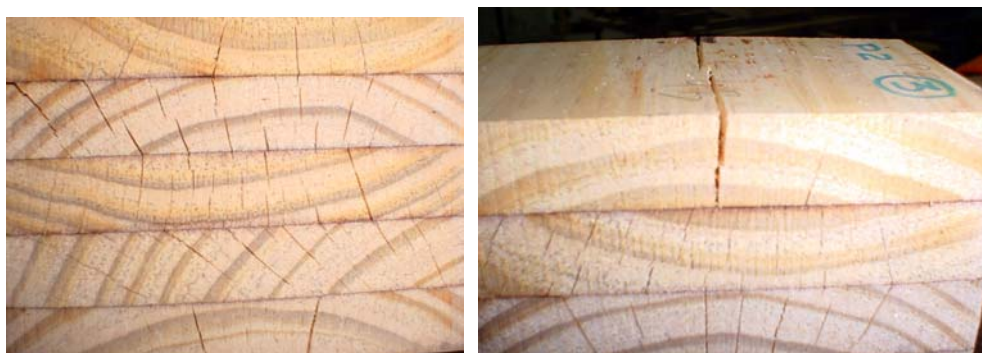


Fig. 7.2 – Fisuras en cara lateral y en lamela superior en probetas de pino
[Foto: M. Calone]

Con respecto a este tema, Werner y Steck⁴ establecen: “Como consecuencia de los procesos de contracción e hinchamiento inducidos por las variaciones en el contenido de humedad y del clima resulta inevitable la generación de fisuramientos pequeños distribuidos aleatoriamente sobre la superficie de la madera. Estos agrietamientos son inherentes al material. Las profundidades de fisuramiento de hasta $1/6$ del espesor de la pieza de madera no comprometen la capacidad estructural y su efecto se encuentra debidamente incorporado en las tensiones de diseño”.

Esta micro fisuración propia del material en servicio, reafirma la necesidad de utilizar madera impregnada en la construcción de elementos estructurales de madera laminada encolada frente a la alta probabilidad de ser atacados por insectos xilófagos.

7.1.3. Análisis del aumento y disminución de peso

En la Tabla 7.2 se presentan los resultados promedio de aumento y disminución de peso obtenidos para cada tipo de viga, en el primero y segundo ciclo de vacío-inmersión-presión y secado en estufa. Los valores obtenidos en cada ensayo se presentan en el Anexo 3.

Tabla 7.2 – Resultados promedio de aumento y disminución de peso por tipo de viga. Ciclo vacío-inmersión-presión y secado en estufa

VIGA	1er CICLO				2do CICLO			
	aumento peso (%)		disminución peso (%)		aumento peso (%)		disminución peso (%)	
N°	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.
P1	87.90	2.08	4.91	0.12	87.53	2.65	7.03	0.79
P2	105.29	3.05	4.54	0.15	108.68	1.44	6.89	0.96
P3	110.72	2.47	4.98	0.13	91.48	3.53	6.91	0.89
PT1	73.45	1.74	6.14	0.63	75.26	2.42	5.66	0.52
PT2	67.66	2.72	5.08	0.21	76.33	5.46	5.54	0.70

⁴ Werner, G et al. 1993 *Holzbau, Teil 2*. Auflage 4, Werner Verlag, Dusseldorf

PT3	69.48	3.29	5.95	0.91	80.90	3.70	5.99	0.95
E1	45.08	0.77	1.95	0.57	47.61	0.94	2.87	0.36
E2	39.64	0.58	4.74	0.32	40.01	0.50	3.02	0.44
E3	47.09	1.92	3.25	0.27	43.60	2.06	2.55	0.20
ET1	31.08	0.80	1.65	0.36	23.78	0.66	4.34	0.26
ET2	35.17	1.52	3.24	1.01	30.25	1.53	3.85	0.70
ET3	31.79	1.16	2.74	0.34	28.67	1.11	4.17	0.57

De acuerdo a los valores obtenidos se observa que existe una diferencia significativa entre los resultados de aumento y disminución de las probetas de pino y las de eucalipto. También existen diferencias entre las probetas impregnadas y sin impregnar de la misma especie.

Para determinar la incidencia de la impregnación se procedió a procesar en forma conjunta todos los valores de una misma especie con y sin impregnación.

Tabla 7.3 – Resultados promedio de aumento y disminución de peso por especie impregnada y sin impregnación. Ciclo vacío-inmersión-presión y secado en estufa

VIGA	1er CICLO				2do CICLO			
	aumento peso (%)		disminución peso (%)		aumento peso (%)		disminución peso (%)	
N°	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.
P	101.30	10.06	4.80	0.23	95.90	9.59	6.94	0.89
PT	70.20	3.60	5.72	0.80	77.50	4.73	5.73	0.77
E	43.86	3.23	3.31	1.21	43.78	3.38	2.81	0.40
ET	32.68	2.15	2.53	0.93	27.56	2.99	4.12	0.58

Los valores de aumento de peso obtenido en el caso de las probetas de pino, con y sin impregnación, tanto en el primero como segundo ciclo, cumplen con los requerimientos de la norma ASTM D2559 que establece que el peso de la mayoría de las especies de madera luego del ciclo de vacío-inmersión-presión debe aumentar por lo menos 50% de su peso original.

El aumento de peso en el caso de las probetas de eucalipto sin impregnar fue de 44% en los dos ciclos, un 6% menor a lo requerido por la norma, lo que se puede considerar un valor cercano al requerido; en las probetas de eucalipto con impregnación se obtuvieron valores 17% y 22% (primero y segundo ciclo) menores, los que no satisfacen dicho requerimiento.

Estudiando cada especie en particular tenemos que el aumento de peso de las probetas de pino en el primer ciclo es 44.3% mayor en las de sin impregnar que en las impregnadas y de 23.74% en el segundo ciclo y el aumento de peso en las probetas de eucalipto en el primer ciclo es 23.74% mayor en las probetas sin impregnar que en las impregnadas y de 58.85% en el segundo ciclo. Estos valores nos dicen que el aumento de peso es mayor en madera sin impregnar que impregnada independiente de la especie de que se trate.

Con respecto al tema de la disminución de peso luego del secado en estufa, la norma ASTM D2559 no plantea ninguna exigencia y la NCh 2148 establece que el peso de las probetas debe bajar entre 12 y 15% del peso original en un período de 10 a 15 horas de estufa.

Los valores de disminución obtenidos en todos los casos están muy por debajo de los requerimientos establecidos, siendo algo mejor en el caso de las probetas de pino que en las de eucalipto, pero en todos los casos los valores de disminución obtenidos no satisfacen el requerimiento de la norma. Es interesante aclarar que en todos los casos el ciclo de secado en estufa fue de dos ciclos de 21 horas a 66 ± 2.5 °C, con una HR entre 8.3 y 9.7% y una circulación de aire entre 2.25 y 2.35 m/s.

7.2. Ensayo de cizalle a través del adhesivo

Como se dijo anteriormente, este ensayo permite evaluar la calidad de la unión encolada mediante la resistencia al cizalle de la línea de cola y el porcentaje de falla de madera en el área cizallada.

Para la realización de este ensayo se cortaron de cada viga 6 probetas escalonadas, 4 de las líneas de encolado exteriores y 2 de la línea de encolado central. Por lo tanto, para cada especie se confeccionaron 18 probetas de madera impregnada y 18 de madera sin impregnar. Cada probeta escalonada contiene 5 líneas de cola, por lo que se realizaron 360 ensayos.

Las probetas se cortaron con la precaución de que la dirección de la fibra de la madera fuera paralela a la dirección de la carga durante la prueba. El ensayo consiste en someter a cizalle el plano de cola a través de una carga de compresión paralela a la fibra de la madera.

7.2.1. Resultados del ensayo de cizalle

La norma ASTM D2559 determina que el promedio del esfuerzo de cizalle para cada grupo de vigas laminadas construidas, no debe ser menor de un valor definido en función de la especie ensayada, asimilando en función de la densidad al pino utilizado con la secoya, la resistencia al cizalle debe ser igual o mayor a 940 psi = 6.6 MPa, y al eucalipto con una $\rho_{0,12}=0.51$ g/cm³ la resistencia al cizalle debe ser igual o mayor a 1310 psi = 9.2 MPa, y que el promedio de los porcentajes de falla de madera para cada grupo de vigas laminadas construidas, no será menor de 75%.

La norma NCh 2148 establece, para vigas de madera de Pino Radiata, que el promedio de los valores de resistencia al cizalle de las probetas ensayadas, debe ser igual o mayor que 6.7 MPa, y que el promedio de los porcentajes de falla de madera en el área cizallada, debe ser igual o mayor a 70%.

Un resumen de los valores promedios de las cargas de rotura registradas, de la resistencia al cizalle y de los porcentajes de falla de madera obtenidos, por tipo de viga, se presentan en la tabla 7.4

Los valores obtenidos en cada ensayo se presentan en el Anexo 3

Tabla 7.4 – Resultados promedio ensayo de cizalle por tipo de viga

VIGA	resistencia cizalle (MPa)		falla madera (%)	
	promedio	desv.est.	promedio	desv.est.
P1	9.0	12.09	78	8.32
P2	9.6	14.43	76	10.23
P3	10.9	13.31	76	8.98
PT1	8.7	16.08	76	11.21
PT2	8.3	15.62	77	10.54
PT3	8.7	14.24	76	11.70
E1	10.9	23.46	90	11.38
E2	11.0	18.67	89	13.24
E3	9.4	15.71	87	10.93
ET1	8.8	12.76	77	10.47
ET2	9.3	16.56	73	9.11
ET3	9.7	16.73	78	14.09

7.2.2. Análisis de los resultados del ensayo de cizalle

De acuerdo a los valores obtenidos se observa que los ensayos realizados en madera de pino con y sin impregnar cumplen ampliamente con los requerimientos planteados por las normas con relación a valores de resistencia al cizalle (≥ 6.7 MPa), como porcentaje de falla de madera ($\geq 75\%$)

Con respecto a los ensayos realizados con madera de eucalipto una viga la ET1 no cumple con lo establecido por la norma en lo que respecta a resistencia al cizalle (≥ 9.2 MPa), y la viga ET2 no cumple con la exigencia de porcentaje de falla de madera ($\geq 75\%$)

En el caso de las probetas de pino, el menor valor obtenido de resistencia al cizalle, 8.3 MPa es 24% superior al mínimo exigido por las dos normas y corresponde a madera impregnada. También se observa que los valores de los ensayos de cizalle muestran una reducción de la resistencia en madera impregnada con preservante CCA comparadas con madera sin impregnación y con respecto a porcentaje de falla de madera los valores son similares.

En el caso de la madera de eucalipto, el menor valor obtenido de resistencia al cizalle, 8.8 MPa es un 4% inferior al mínimo exigido por la norma ASTM D2559 y corresponde a madera impregnada.

Con respecto al porcentaje de falla de madera, los valores en madera impregnada son menores a los de la madera sin impregnación. El menor valor 73% corresponde a madera impregnada y es cercano al requerimiento planteado por la norma ASTM D2559 (% falla de madera $\geq 75\%$), pero no logra satisfacerlo totalmente.

También se observa que, al igual que el pino, hubo un comportamiento superior, en resistencia al cizalle, en las probetas de eucalipto sin impregnar que en las impregnadas.

Para ver la incidencia de la impregnación con sales de CCA tipo C en los valores de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera obtenidos se hace el estudio estadístico de las medias que nos permite decidir si las diferencias observadas pueden ser atribuidas al azar.

Las hipótesis planteadas fueron:

Hipótesis nula H_0 = no hay interacción entre el impregnado y la línea de cola

Hipótesis alternativa H_A = si hay interacción entre el impregnado y la línea de cola

El nivel de significancia se fijó en $\alpha \leq 0.05$ lo cual significa que se rechaza la H_0 siempre que la probabilidad de equivocarme sea menor a 5%

Se identificó:

\bar{x}_1 = media de los valores de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera de las 90 líneas de cola en probetas de pino o eucalipto sin impregnar

\bar{x}_2 = media de los valores de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera de las 90 líneas de cola en probetas de pino o eucalipto impregnado

7.2.2.1. Madera de pino

a) Test de significancia

Los valores medios y nivel de significancia obtenidos en resistencia al cizalle para madera de pino fueron:

$$\bar{x}_1 = 9.874$$

$$\bar{x}_2 = 8.562$$

$$\alpha = 0.0001$$

El valor medio en madera de pino sin impregnar es mayor al de madera impregnada que junto con el nivel de significancia $\alpha = 0.0001$ que rechaza la hipótesis nula, nos estaría indicando que existió un efecto de interacción entre el impregnante y la calidad de la línea de cola

Con respecto al estudio de valores medios de porcentaje de falla de madera dio que hay diferencias significativas entre las diferentes líneas de cola

$$\alpha = 0.0056$$

se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que dice que hay interacción entre impregnación y línea de cola.

Para el estudio de esta interacción se compararon las medias de las 5 líneas de cola de las probetas sin impregnar con su igual en las probetas impregnadas.

Los valores obtenidos se presentan en la tabla 7.5 y se grafican en la figura 7.3

Tabla 7.5 – Niveles de significancia por línea de cola

línea de cola	α
1	0.5180
2	0.0014
3	0.5293
4	0.0603
5	0.5408

Para visualizar el comportamiento de las líneas de cola se representa en un gráfico x-y los valores medios de porcentaje de falla de madera obtenidos en las probetas sin y con impregnación por línea de cola. El valor 1 en la abscisa representa la madera sin impregnar y el valor 2 representa la madera impregnada.

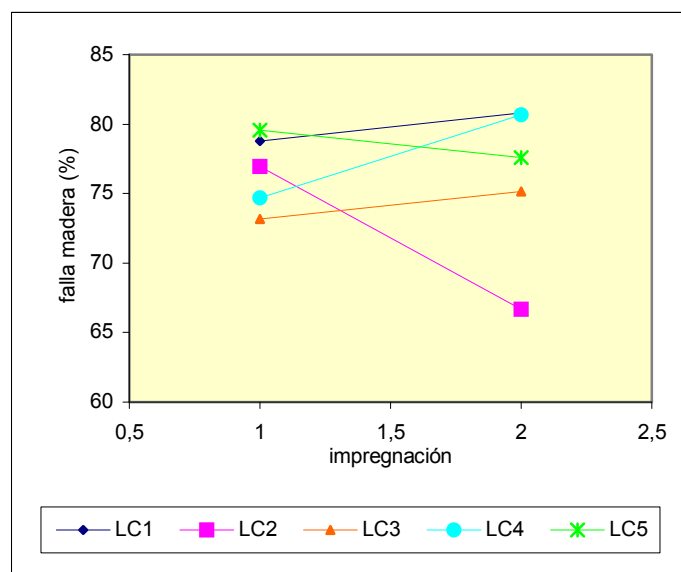


Fig. 7.3 - Comportamiento de las líneas de cola en la madera de pino

La comparación de la línea de cola 1 sin impregnar versus la línea de cola 1 impregnada da un $\alpha = 0.5180$, este valor no rechaza la hipótesis nula, no existen diferencias significativas en el % de falla de madera sin y con impregnación, por lo que en el gráfico se presenta la LC1 por una recta con una pequeña pendiente. Las diferencias entre los valores se debieron al azar y no al proceso de impregnación. Esto también se cumple en las líneas de cola 3 y 5.

Las líneas de cola 2 y 4 presentan pendientes mayores, con valores de $\alpha = 0.0014$ y $\alpha=0.0603$ que nos dice que existen diferencias significativas entre porcentajes de falla de madera sin y con impregnación.

La importante pendiente negativa de la LC2 nos dice que el % de falla de madera impregnada es menor al % de falla de madera sin impregnar lo que estaría indicando que hubo incidencia del impregnado en la calidad del encolado, pero esta afirmación se invalida al observar la LC4 que presenta pendiente positiva.

El análisis realizado en donde existiría un efecto de interacción entre impregnante y línea de cola en el ensayo de resistencia al cizalle, que no se condice con el estudio sobre porcentaje de falla de madera donde sólo una línea de cola, la LC2 rechaza la hipótesis nula y da un porcentaje de falla de madera menor en madera impregnada, permitiría inferir que el preservante de CCA no tendría incidencia sobre la calidad del encolado en madera de pino.

En la figura 7.4 se muestra la forma de rotura por cizalle en probeta de pino. Se ve como la rotura sigue la dirección de los anillos de crecimiento. Rompió por la madera de primavera dando fallo en el adhesivo en la madera de verano (Marian, 1958)

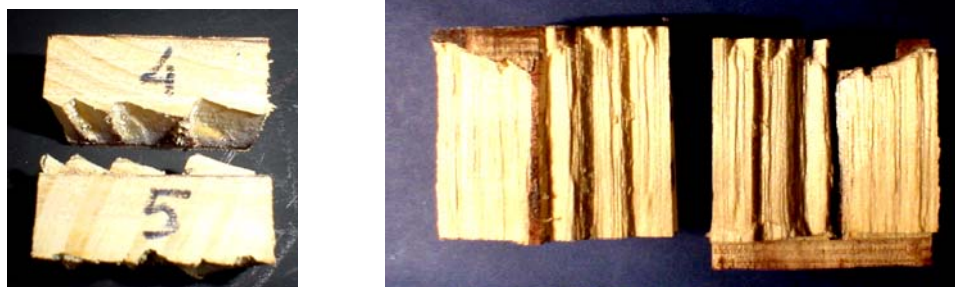
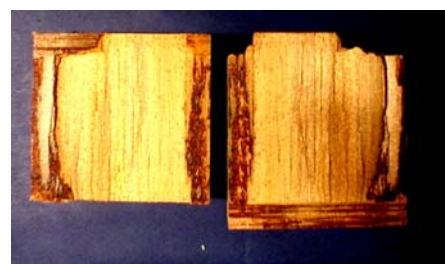


Fig. 7.4 – Vista lateral y superior de rotura por cizalle en madera de primavera [Foto: M. Calone]

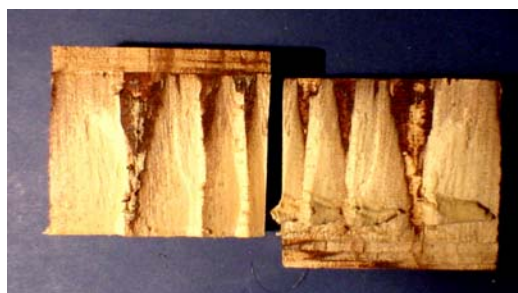
La figura 7.5 muestra diferentes porcentajes de falla de madera en probetas de pino sometidas al ensayo de cizalle. La falla se da en la madera de primavera



porcentaje de falla de madera 100%



porcentaje de falla de madera 80%



porcentaje de falla de madera 70%

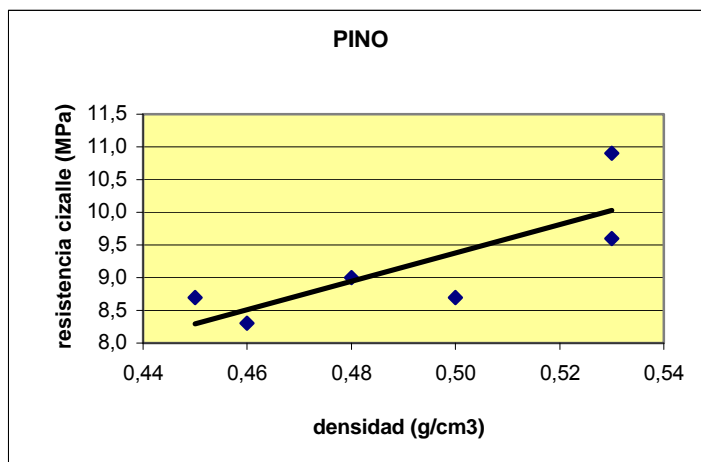


porcentaje de falla de madera 60%

Fig. 7.5 – Rotura por cizalle en probetas de pino con diferentes porcentajes de falla de madera [Foto: M. Calone]

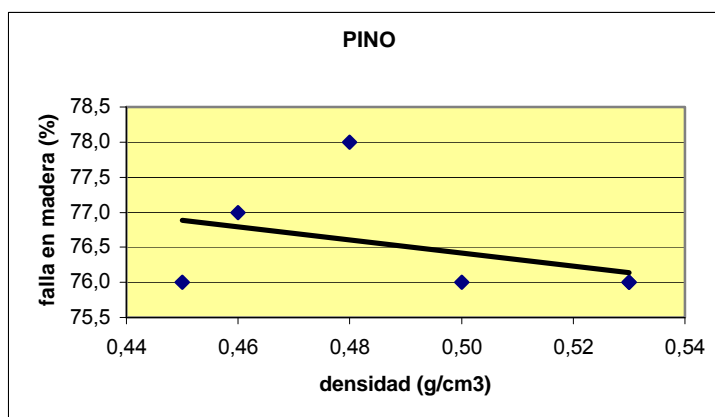
b) Influencia de la densidad de la madera

El efecto de la densidad de la madera de pino en la resistencia al cizalle de la unión encolada y el porcentaje de falla en madera se muestra en las figuras 7.6 y 7.7



coef. de correlación $r = 0.796$

Fig. 7.6 - Relación entre densidad y resistencia de la unión encolada



coef. de correlación $r = 0.383$

Fig. 7.7 – Relación entre densidad y porcentaje de falla en madera

Se observa coeficiente de correlación alto y positivo entre densidad y resistencia al cizalle. En la relación entre densidad y porcentaje de falla de

madera los valores son muy dispersos y el coeficiente de correlación es bajo. Igualmente la línea de tendencia muestra una distribución negativa.

Las líneas de tendencia obtenidas para la madera de pino siguen una tendencia lógica, positiva en el caso de la resistencia al cizalle y negativa en porcentaje de falla de madera en su relación con la densidad.

7.2.2.2. Madera de eucalipto

a) Test de significancia

Los valores obtenidos en resistencia al cizalle para madera de eucalipto fueron:

Valores medios y nivel de significancia

$$\bar{x}_1 = 10.447$$

$$\bar{x}_2 = 9.277$$

$$\alpha = 0.0001$$

El valor medio en madera de eucalipto sin impregnar es mayor que en madera impregnada que junto con $\alpha = 0.0001$ que significa que las diferencias no se debieron al azar, nos indica que existe un efecto de interacción entre el impregnante y la línea de cola.

Con respecto al estudio de valores medios de porcentaje de falla de madera dio que hay diferencias significativas entre las diferentes líneas de cola

$$\alpha = 0.0021$$

se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que dice que hay interacción entre impregnación y la línea de cola.

Para el estudio de esta interacción se compararon las medias de las 5 líneas de cola de las probetas sin impregnar con su igual en las probetas impregnadas.

Los valores obtenidos se presentan en la tabla 7.6 y se grafican en la figura 7.8

Tabla 7.6 – Niveles de significancia por línea de cola

línea de cola	α
1	0.0001
2	0.8120
3	0.0268
4	0.0001
5	0.0001

Para visualizar el comportamiento de las líneas de cola se representa en un gráfico x-y (fig. 7.8) los valores medios de falla de madera obtenidos en las probetas sin y con impregnación.

El valor 1 en la abscisa representa la madera sin impregnar y el valor 2 representa la madera impregnada.

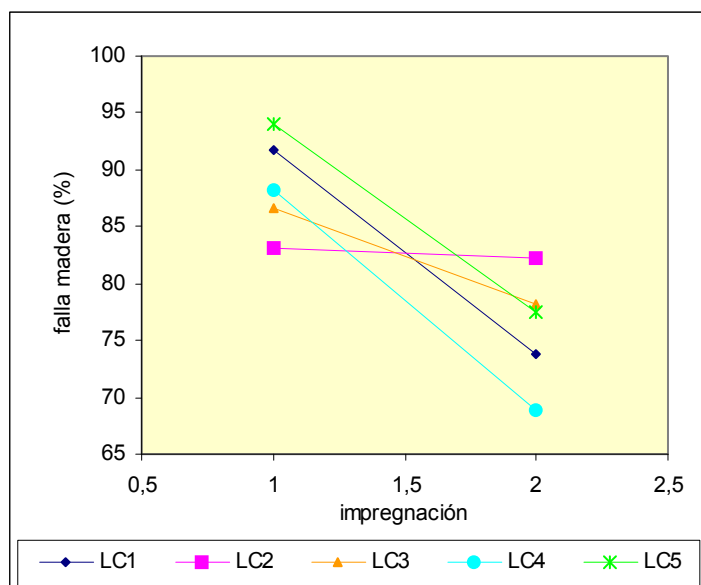


Fig. 7.8 - Comportamiento de las líneas de cola en la madera de eucalipto

El análisis de la línea de cola 1 sin impregnar versus la línea de cola 1 impregnada con un $\alpha = 0.0001$ rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, existen diferencias significativas no debidas al azar, en el gráfico se presenta una recta con importante pendiente negativa, el valor de falla de madera es menor en madera impregnada que en madera no impregnada.

Esto también se cumple en las líneas de cola 3, 4 y 5.

La líneas de cola 2 con $\alpha = 0.8120$, en el gráfico se la visualiza como un recta casi horizontal por lo que las diferencias en el % de falla de madera en madera sin y con impregnación se deberían al azar.

Como se explicó en el capítulo 6, punto 6.4, las vigas laminadas de eucalipto contienen entre 3 o 4 lamelas impregnadas, las restantes son de madera de duramen, por lo que no es posible asegurar que la calidad de las líneas de encolado se deba al preservante pues intervienen otros factores que pudieron afectar los resultados finales pero el análisis realizado permitiría inferir, en función del comportamiento de las probetas en el ensayo de resistencia al cizalle donde las diferencias de las medias se debieron a una interacción entre el impregnante y la calidad de la línea de cola, junto con el análisis de porcentaje de falla de madera donde cuatro líneas de cola presentaron diferencias significativas, la existencia de una probable incidencia del preservante de sales de CCA tipo C en la calidad del encolado de madera de eucalipto.

En la figura 7.9 se muestra la forma de rotura de las probetas de eucalipto con diferentes porcentajes de falla de madera. Se ve como el eucalipto rompe siguiendo la dirección de la fibra.

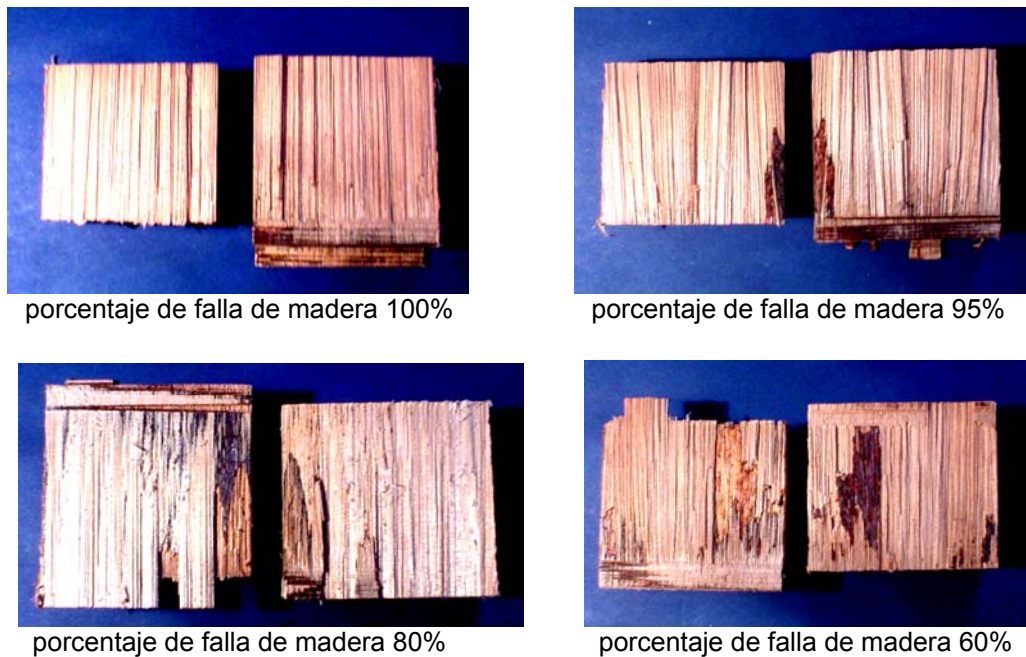
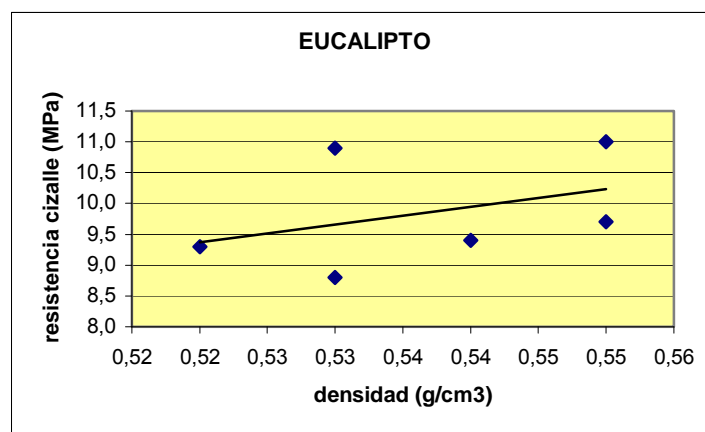


Fig. 7.9 – Rotura por cizalle en probetas de eucalipto
[Foto: M. Calone]

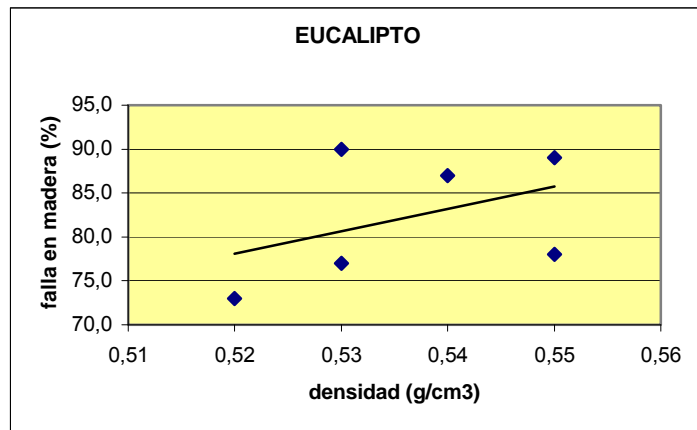
b) Influencia de la densidad de la madera

Las figuras 7.10 y 7.11 muestran el efecto de la densidad de la madera de eucalipto en la resistencia al cizalle de la unión encolada y en el porcentaje de falla de madera.



coef. de correlación $r = 0.385$

Fig. 7.10 – Relación entre densidad y resistencia de la unión encolada



coeficiente de correlación $r = 0.428$

Fig 7.11 – Relación entre densidad y porcentaje de falla en madera

Se observan valores muy dispersos y coeficientes de correlación bajos y línea de tendencia positiva entre densidad y resistencia al cizalle y entre densidad y porcentaje de falla de madera. Las variaciones no están explicadas por la densidad de la madera, lo que está indicando la incidencia de otros elementos en el proceso productivo que influyeron significativamente en los resultados finales.

Además la línea de tendencia en la relación densidad - % falla de madera no sigue el desarrollo esperado.

CAPITULO 8 – CONCLUSIONES

La investigación realizada estudia la viabilidad de uso de elementos estructurales de madera impregnada-laminada-encolada frente a condicionantes propias del país que obligan a utilizar madera preservada, las cuales se sintetizan a continuación.

Uruguay, país tradicionalmente agrícola ganadero a partir de la Ley de Desarrollo Forestal 15939 del año 1987, desarrolla la forestación con especies exóticas de rápido crecimiento destinadas a la fecha mayoritariamente a la producción de leña y rollos de eucalipto para la exportación.

Existe actualmente un reconocimiento de que se debe comenzar a producir productos con mayor valor agregado y que la manera más eficiente para consumir grandes cantidades de madera es como material de construcción, y es en ese marco que el desarrollo de productos laminados encolados surge como una alternativa racional de uso de este recurso.

Las características físicas de nuestras maderas, provenientes de cultivo, clasificadas por la norma UNIT 237-70 como maderas livianas por sus valores de densidad, $\rho_{0,12} \leq 0.50 \text{ g/cm}^3$, junto al clima de Uruguay con altos porcentajes de humedad relativa, abundantes lluvias distribuidas casi uniformemente en el año y clima templado, propicio para el desarrollo de ambientes húmedos, transforman a nuestras maderas en un material fácilmente atacable por agentes destructores.

Además de las condicionantes antes enumeradas, Uruguay cuenta con insectos xilófagos que atacan madera en uso, siendo el más destructivo el *Reticulitermes lucifugus* (termita), por alimentarse de albura y duramen de madera seca de coníferas y latifoliadas. “Estas termitas establecen sus colonias, viven y dañan madera sólida no descompuesta que contiene muy poca humedad” (Ebeling, 1968; Kofoid 1934). Esta especie fue declarada plaga en 1989.

Esto tiene una consecuencia muy importante pues ninguna medida de tipo arquitectónico puede proteger la madera de sus ataques.

El uso de madera preservada con productos que son insecticidas y fungicidas a la vez, se vuelve obligatorio para la obtención de elementos estructurales durables. Las sales de CCA son en la actualidad las más usadas por poseer el índice de retención más alto.

La investigación realizada muestra la complejidad del proceso de producción de elementos estructurales de madera preservada-laminada-encolada para uso en el exterior o en ambientes agresivos, e introduce el concepto de la necesidad del control de calidad en el proceso productivo.

Los adhesivos utilizados son muy exigentes en el control de las condiciones de encolado, como ser, temperatura y contenido de humedad del local, así como contenido de humedad de la madera, terminación y limpieza de la superficie, orientación de la fibra, espesor de la línea de cola y presión aplicada.

La investigación permitió un primer acercamiento al tema a nivel nacional, y como resultado de la investigación realizada a nivel experimental se determinaron comportamientos de las maderas disponibles en el país.

Contempló la realización de 360 ensayos de cizalle a través del adhesivo y 72 ensayos de delaminación, cuyo número y resultados permite disponer de información con un grado de confiabilidad que reviste interés desde el punto de vista de su utilización y son una base para futuras investigaciones.

Para el estudio de la incidencia de la impregnación con sales de CCA tipo C en las uniones de vigas laminadas construidas con madera de *Pinus elliottii* y de *Eucalyptus grandis* y encoladas con adhesivo de resorcinol-formol, se fabricaron vigas laminadas con proceso previo de impregnación y sin impregnar y se compararon entre sí.

El estudio se realizó de acuerdo a las directivas de la norma ASTM D2559-76 en cuanto al diseño de los elementos, control en el proceso productivo y ensayos.

Se realizaron dos tipos de ensayos: de ciclo de delaminación y de cizalle a través del adhesivo a efectos de determinar la influencia del preservante en las características mecánicas de la madera laminada encolada.

El ensayo de cizalle permite evaluar la calidad de la unión encolada mediante la resistencia al cizalle en la línea de cola y el porcentaje de falla de madera en el área cizallada. Mide la capacidad que tiene la unión encolada para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una sección sobre otra.

El ensayo de delaminación permite medir los efectos de la intemperie sobre la línea de cola. El principio es originar tensiones interiores en la madera por medio de un gradiente de humedad, hinchazón y secado, para provocar tensiones de tracción perpendicular a las líneas de cola de tal forma que los encolados defectuosos sufran delaminaciones en dicha línea.

Los resultados obtenidos se compararon con los requerimientos prescritos por la norma ASTM D 2559-76 y la NCh 2148 Of89.

Del análisis y observación de los ensayos realizados se pueden establecer las siguientes conclusiones:

8.1. Conclusiones del ensayo de delaminación

- Las dos especies forestales estudiadas, *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis*, sin y con proceso previo de impregnación tuvieron un comportamiento casi aceptable frente al ensayo de resistencia a la delaminación mediante exposición acelerada a condiciones atmosféricas. En el caso de las probetas de *Pinus elliottii* 4 probetas en 36 presentaron una delaminación del 6%, las 32 probetas restantes cumplen con el requerimiento de la norma ($\leq 5\%$). En el caso de las probetas de *Eucalyptus grandis* 3 probetas en 36 presentaron una delaminación del 9%, las 33 restantes cumplen con el requerimiento de la norma ($\leq 8\%$).
- Las probetas de madera laminada encolada realizadas con *Pinus elliottii* sin y con proceso previo de impregnación tuvieron mejor comportamiento en el ensayo de delaminación que las probetas de *Eucalyptus grandis*. En el caso de las probetas de pino no delaminó el 44% de las probetas y el 88% de las líneas de cola y en las probetas de eucalipto no delaminó el 25% de las probetas y el 75% de las líneas de cola.
- Las probetas de madera laminada encolada realizadas con *Pinus elliottii* sin y con proceso previo de impregnación tuvieron un comportamiento semejante en el ensayo de delaminación, las probetas de eucalipto presentaron mejor comportamiento las sin impregnar que las impregnadas. En las probetas de eucalipto sin impregnar el 44% no presentó delaminación y el 6% presentó delaminación superior al límite definido por la norma y en las impregnadas el 6% no presentó delaminación y el 11% presentó una delaminación superior.
- El test de significancia aplicado al análisis de los valores medios de los porcentajes de delaminaciones presentadas en las probetas de pino proporcionó como resultado que el preservante de sales de CCA tipo C no tendría incidencia sobre la calidad del encolado en las vigas de madera laminada de *Pinus elliotti* ya que las diferencias en las medias se debieron al azar.
- El test de significancia aplicado al análisis de los valores medios de los porcentajes de delaminaciones presentadas en las probetas de eucalipto proporcionó como resultado que el preservante de sales de CCA tipo C tendría incidencia sobre la calidad del encolado en las vigas de madera laminada de *Eucalyptus grandis* ya que las diferencias en las medias se debieron al proceso de impregnación que afectó la calidad de la línea de cola.
- Ninguna de las dos especies cumplió con los requerimientos de la norma ASTM D 2559-76 que fija que la delaminación máxima en una línea de cola no puede superar el 20% de la admisible, lo que significa

para las probetas de pino una delaminación de 0.76 cm y para el eucalipto una delaminación de 1.2 cm. Esta disposición se evalúa como muy difícil de cumplir.

- Luego de los dos ciclos de vacío-inmersión-presión y secado se desarrollaron numerosas fisuras, en mayor cantidad en la madera de pino, pero no dejaron de aparecer en las probetas de eucalipto, que se las considera propias del material en servicio (Werner,1993), lo que reafirma la necesidad de utilizar madera preservada en la construcción de elementos estructurales de madera laminada encolada frente a la alta probabilidad de ser atacadas por insectos xilófagos.
- En el ensayo de delaminación se establece en las normas requerimientos de aumento de peso (ASTM D2559-76) o disminución de peso (NCh 2148 Of89) que no se lograron cumplir. Sería necesario aumentar el tamaño de la muestra para obtener valores más representativos del comportamiento de la madera para decidir si merece una revisión de las normas en ese punto.

8.2. Conclusiones del ensayo de cizalle a través del adhesivo

- Las probetas de madera laminada encolada realizadas con *Pinus elliottii* sin y con proceso previo de impregnación tuvieron un comportamiento satisfactorio en el ensayo de cizalle. El menor valor medio obtenido de resistencia al cizalle, 8.3 MPa, es 24% superior al mínimo exigido por las dos normas y corresponde a madera impregnada.
- Las probetas de madera laminada encolada realizadas con *Eucalyptus grandis* tuvieron un comportamiento diferente las sin impregnar que las impregnadas. Las probetas sin impregnación tuvieron un comportamiento satisfactorio en los valores obtenidos de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera, en el caso de las probetas impregnadas no todas las vigas cumplen con los valores mínimos exigidos por la norma ASTM D2559.
- Las dos especies forestales presentaron una reducción de la resistencia al cizalle en madera impregnada comparada con su misma sin impregnar, y en el caso del eucalipto una viga la ET1 (resistencia al cizalle = 8.8 MPa) no cumple con lo establecido por la norma (resistencia al cizalle \geq 9.2 MPa).
- Con respecto al porcentaje de falla de madera en el pino los valores son similares entre madera sin y con impregnación, y cumplen con los requerimientos de la norma (falla de madera \geq 75%), en el eucalipto los valores en madera impregnada son menores a los obtenidos en madera sin impregnar, y una viga la ET2 presenta un valor menor a lo establecido (falla de madera = 73%)

- El test de significancia aplicado al análisis de los valores medios de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera obtenidos en las probetas de *Pinus elliottii* donde existiría una disminución de la resistencia al cizalle provocada por la impregnación que no se confirma en el estudio de porcentaje de falla de madera ni en el estudio de delaminación donde las diferencias significativas se debieron al azar, permitiría inferir que el preservante de CCA tipo C no tendría incidencia sobre la calidad del encolado. Las diferencias presentadas sugieren que hubieron condiciones externas, como por ejemplo la cantidad de adhesivo aplicado, un esparcido no uniforme del mismo y/o presión aplicada, que influyeron en la calidad de las líneas de cola.
- El test de significancia aplicado al análisis de los valores medios de resistencia al cizalle y porcentaje de falla de madera obtenidos en las probetas de *Eucalyptus grandis* permitiría inferir la existencia de una probable incidencia del preservante de sales de CCA tipo C en la calidad del encolado de madera de eucalipto.
- En la madera de pino existe proporcionalidad entre la densidad y la resistencia al cizalle de la línea de cola. A mayor densidad corresponde mayor resistencia al cizalle, habiéndose obtenido coeficientes de correlación alto y positivo.
- El efecto de la densidad en el porcentaje de falla de madera de pino en la línea de cola presenta una relación acorde a la esperada, mayor densidad corresponde menor porcentaje de falla de madera, si bien el coeficiente de correlación es bajo
- La relación entre densidad de la madera de eucalipto con resistencia al cizalle y con porcentaje de falla de madera en la línea de cola, dio coeficientes de correlación bajos, lo que muestra que la variación no está explicada por la densidad de la madera, junto con una línea de tendencia positiva entre densidad y porcentaje de falla de madera, está indicando la incidencia de otros elementos en el proceso productivo que influyeron significativamente en los resultados finales.

8.3. Conclusiones generales

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados de delaminación y de cizalle a través del adhesivo permitirían evaluar que hubo un mejor comportamiento de la madera de *Pinus elliottii* frente a la de *Eucalyptus grandis* en su respuesta a condiciones de exposición al medio ambiente.

El estudio realizado permite concluir que es viable la construcción de elementos estructurales de madera de *Pinus elliottii* laminada con proceso previo de impregnación con sales de CCA tipo C y encolada con adhesivo de resorcinol-formol.

Con respecto a la construcción de elementos estructurales de madera laminada de *Eucalyptus grandis* el estudio deja varios interrogantes. Si bien el análisis de las medias en los ensayos realizados adjudicó las diferencias a la incidencia del impregnante de sales de CCA tipo C en la calidad de las líneas de cola, no es posible asegurar esta incidencia, ya que, como se dijo en el punto 6.4 no todas las lamelas constitutivas de las vigas laminadas estaban impregnadas y las diferencias en las medias se pudieron deber a la intervención de otros factores o a un comportamiento desfavorable de la madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* con adhesivo de resorcinol-formol expuesta al medio ambiente.

También permite concluir que la construcción de elementos laminados y encolados de madera requieren de un proceso productivo muy controlado de todos los factores que intervienen en el proceso para tener una alta probabilidad de obtener una unión adhesiva efectiva.

8.4. Recomendaciones

Se recomienda continuar investigando en la factibilidad de la construcción de elementos estructurales laminados de madera de *Eucalyptus grandis* por presentar esta especie forestal un rápido crecimiento en el país y ocupar actualmente un 40% del total forestado.

Se debería continuar investigando en la misma línea de esta investigación, madera laminada con proceso previo de impregnación con productos insecticidas y fungicidas, adhesivo de resorcinol u otros adhesivos adecuados para uso en el exterior, diferentes cantidades de adhesivo y distintas cargas de prensado.

ANEXOS

ANEXO I

BITACORA DE FABRICACION

- **CARACTERISTICAS DE LAS LAMELA**
- **FABRICACION DE LAS VIGAS**

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 1

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus eliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.30 19.60 19.40	19.25 19.26 19.23	19.26 19.63 19.40	19.40 19.10 19.50	19.20 19.30 19.50	19.40 19.30 19.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 9 9	11 9 9	9 9 11	11 9 11	12 11 11	9 9 9
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	1 : 15	1 : 15	1 : 15	1 : 15	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	5 x 5	6 x 6	no	No
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	1.5	1	1	1	1.5	1
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 2

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus eliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.40 19.60 19.40	19.40 19.50 19.60	19.20 19.30 19.30	19.40 19.30 19.40	19.30 19.20 19.20	19.40 19.30 19.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 11 12	9 11 11	11 9 11	11 9 11	9 9 11	9 9 11
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	1 : 15	no	no	1 : 15	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	4 x 4	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	0.8	1	1.5	1	0.7	0.8
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 3

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus eliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.40 19.30 19.20	19.30 19.10 19.30	19.10 19.40 19.50	19.60 19.30 19.20	19.40 19.30 19.30	19.10 19.30 19.30
CONTENIDO DE HUMEDAD	9 9 9	9 9 11	11 11 11	12 11 12	11 11 9	12 12 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	1 : 15	no	no	no	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	5 x 4	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	1	0.8	1	1.5	1	1
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 1

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus eliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.80 19.70 19.90	19.80 19.80 19.70	19.80 19.70 19.70	19.80 19.80 19.80	19.70 19.80 19.60	19.90 19.70 19.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	12 14 12	12 14 14	14 14 14	14 14 14	14 14 12	14 14 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	no	no	no	no	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	1.5	1.5	0.7	1	1	1.5
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 2

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus elliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.90 19.80 19.40	19.80 19.70 19.70	19.80 19.60 19.70	19.80 19.70 19.80	19.90 19.70 19.80	19.90 19.70 19.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	14 14 14	14 14 14	14 12 14	14 14 14	12 14 14	12 12 14
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	1 : 15	no	no	no	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	4 x 5
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	1	1	0.8	1.5	0.8	1
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 3

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Pinus eliottii

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.90 19.80 19.50	19.90 19.80 19.60	19.80 19.70 19.70	19.70 19.50 19.60	19.90 19.80 19.80	19.90 19.70 19.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 12 12	14 14 14	12 12 12	12 14 14	12 14 12	14 12 14
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO	no	no	no	no	no	no
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm	1	1	1	1	1	1
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 1

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.00 18.60 18.60	19.00 18.60 18.90	19.20 18.50 18.90	19.20 18.60 18.70	19.40 18.60 18.60	19.60 18.60 18.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	12 12 12	12 12 14	12 12 12	14 14 14	14 14 14	11 12 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 2

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.40 18.60 18.70	19.50 18.70 18.70	19.30 18.80 18.90	19.20 18.50 18.50	19.90 19.40 19.60	19.40 18.60 18.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 12 12	14 14 14	14 14 14	14 14 14	14 14 14	11 12 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 3

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	
NO	X

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.10 18.90 18.60	18.70 18.90 18.40	18.90 18.80 18.50	18.80 19.00 18.60	18.90 18.40 18.60	19.20 19.00 18.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	12 12 12	14 14 14	12 14 12	12 12 12	14 14 14	11 12 11
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	3 x 2	2.5 x 4.5	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 1

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.50 19.20 19.60	19.60 19.20 19.30	19.20 19.00 19.00	19.10 19.30 19.20	19.60 19.40 19.60	19.30 19.50 19.40
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 12 11	9 11 11	11 11 11	12 12 12	14 12 12	14 12 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 2

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.70 19.30 19.70	19.40 19.20 19.10	19.50 19.30 19.20	19.50 19.20 19.30	19.60 19.20 19.20	19.30 19.20 19.20
CONTENIDO DE HUMEDAD	14 14 12	14 14 14	12 14 12	12 14 12	12 14 14	12 14 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	2 x 3 5 x 4.5	no	no	no	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

CARACTERISTICAS DE LAS LAMELAS

FECHA : 13/06/03

VIGA Nº : 3

CANTIDAD DE LAMELAS: 6

ESPECIE: Eucalyptus grandis

TRATAMIENTO CON CCA:

SI	X
NO	

	1	2	3	4	5	6
DIMENSIONES espesor (mm)	19.20 19.00 19.30	19.50 19.20 19.40	19.40 19.30 19.50	19.20 19.30 19.90	19.30 19.00 19.10	19.30 19.50 19.20
CONTENIDO DE HUMEDAD	11 12 11	9 11 11	12 14 12	12 12 12	12 12 12	14 14 12
CEPILLADAS Y LIBRE DE POLVO	si	si	si	si	si	si
CLASIFICACION: VISUAL						
INCLINACION DEL GRANO						
TAMAÑO DE NUDOS (mm)	no	no	3 x 3.5	2.5 x 4.5	no	no
CANTIDAD DE ANILLOS EN 1 cm						
OTRO DEFECTO	no	no	no	no	no	no

FABRICACION DE VIGAS

FECHA : 13/06/03

LOCAL: temperatura - 24.4 °C
humedad - 58 %

ESPECIE:

PINO	X
EUCALIPTO	

TRATADA CON CCA:

SI	X
NO	

NUMERO DE LAMELAS: 6

DIMENSIONES LAMELAS: 1.90 x 13.97 x 101.6 cm

CARACTERISTICAS DEL ADHESIVO: Resina: CASCOPHEN RS-216-M
Endurecedor: FM-60-M

VIGA	1	2	3
hora preparación adhes.	15.20		
cantidad grs/m ²	543 gr/m ²		
hora aplicación inicio	15.25	--	--
hora aplicación finalización	--	--	15.30
PRENSADO			
hora inicio	15.50		
reapriete	16.00 16.20		
hora final	7.00 hs		
presión aplicada k/cm ²	7 kg/cm ²		
brote adhesivo (si, no)	SI		
tiempo de curado	10 días		

FABRICACION DE VIGAS

FECHA : 13/06/03

LOCAL: temperatura - 24.4 °C
Humedad - 58 %

ESPECIE:

PINO	X
EUCALIPTO	

TRATADA CON CCA:

SI	
NO	X

NUMERO DE LAMELAS: 6

DIMENSIONES LAMELAS: 1.90 x 13.97 x 101.6 cm

CARACTERISTICAS DEL ADHESIVO: Resina: CASCOPHEN RS-216-M
Endurecedor: FM-60-M

VIGA	1	2	3
hora preparación adhes.	15.20		
cantidad gr/m ²	543 gr/m ²		
hora aplicación inicio	15.34	--	--
hora aplicación finalización	--	--	15.40
PRENSADO			
hora inicio	15.50		
reapriete	16.00 16.20		
hora final.	7.00		
presión aplicada k/cm ²	7 kg/cm ²		
brote adhesivo (si, no)	SI		
tiempo de curado	10 días		

FABRICACION DE VIGAS

FECHA : 13/06/03

LOCAL: temperatura - 24.3 °C
Humedad - 58 %

ESPECIE:

PINO	
EUCALIPTO	X

TRATADA CON CCA:

SI	
NO	X

NUMERO DE LAMELAS: 6

DIMENSIONES LAMELAS: 1.90 x 13.97 x 101.6 cm

CARACTERISTICAS DEL ADHESIVO: Resina: CASCOPHEN RS-216-M
Endurecedor: FM-60-M

VIGA	1	2	3
hora preparación adhes.	14.55		
cantidad gr/m ²	464 gr/m ²		
hora aplicación inicio	15.06	--	--
hora aplicación finalización	--	--	15.10
PRENSADO			
hora inicio	15.50		
reapriete	16.00 16.20		
hora final.	7.00		
presión aplicada k/cm ²	10 kg/cm ²		
brote adhesivo (si, no)	SI		
tiempo de curado	10 días		

FABRICACION DE VIGAS

FECHA : 13/06/03

LOCAL: temperatura - 24.4 °C
Humedad - 58 %

ESPECIE:

PINO	
EUCALIPTO	X

TRATADA CON CCA:

SI	X
NO	

NUMERO DE LAMELAS: 6

DIMENSIONES LAMELAS: 1.90 x 13.97 x 101.6 cm

CARACTERISTICAS DEL ADHESIVO: Resina: CASCOPHEN RS-216-M
Endurecedor: FM-60-M

VIGA	1	2	3
hora preparación adhes.	14.55		
cantidad gr/m ²	464 gr/m ²		
hora aplicación inicio	15.00	--	--
hora aplicación finalización	--	--	15.05
PRENSADO			
hora inicio	15.50		
reapriete	16.00 16.20		
hora final.	7.00		
presión aplicada k/cm ²	10 kg/cm ²		
brote adhesivo (si, no)	SI		
tiempo de curado	10 días		

ANEXO II

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Adhesivo CASCOPHEN RS-216-M**



CASCOPHEN RS-216-M

**RESINA À BASE DE RESORCINOL-FORMOL,
DE SECAGEM À TEMPERATURA AMBIENTE; INDICADA PARA
COLAGEM À PROVA D'ÁGUA DE MADEIRAS**

Cascophen RS-216-M é uma resina sintética, à base de Resorcinol-Formol, em solução álcool/água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, etc. Cola perfeitamente todos os tipos de madeira (inclusive alguns tipos tratados com preventivos contra fogo), chapas duras e outros materiais semelhantes, proporcionando uma liga perfeitamente durável.

Excelente para trabalhos navais, hidráulicos e outros, onde a colagem deverá ficar exposta temporária ou definitivamente à ação das intempéries, água, etc., como é o caso de barcos, escadas e caixas d'água.

CARACTERÍSTICAS	
Viscosidade (Brookfield, 2/30/25°C), cP	530 - 650
Teor de sólidos (1g /3h / 105°C), %	53 - 58
Gel Time (21°C), horas (Adesivo + Preparado Endurecedor)	3,5 - 6,0
pH (25°C)	6,9 - 7,5

Cascophen RS 216-M é obrigatoriamente usada em conjunto com o Preparado Endurecedor FM-60-M (em pó) na seguinte proporção por peso:

- 100 partes CASCOPHEN RS-216-M
- 20 partes PREPARADO ENDURECEDOR FM-60-M

A preparação é feita misturando-se o Preparado Endurecedor FM-60-M na resina e agitando-se até que a sua dispersão fique perfeitamente homogênea. A cola assim preparada numa temperatura de 20°C terá uma vida útil de aproximadamente 4 horas e a 32°C a vida útil será apenas de 1 hora e meia.



CASCOPHEN RS-216-M

A adição de até 10% de álcool é recomendada apenas quando a cola estiver grossa por evaporação do solvente ou quando for necessário melhorar a penetração da cola em algumas madeiras mais duras.

ESPALHAMENTO DA COLA:

A aplicação da cola poderá ser feita com pincel ou escova nos serviços pequenos. Em séries grandes, é recomendado o uso de passadeiras de cola, com rolos revestidos de borracha. Sugerimos a aplicação nas duas faces a serem coladas, para maior eficiência.

TEMPO DE MONTAGEM:

Cascophen RS-216-M requer tempo mínimo de montagem, isto é, o tempo compreendido entre o espalhamento da cola na superfície até a aplicação da pressão a fim de permitir a penetração da cola, de acordo com o quadro seguinte:

TEMPO MÁXIMO DE MONTAGEM EM MINUTOS				
Temperatura ambiente, da madeira e da cola	20°C	26°C	32°C	38°C
Montagem aberta (superfícies expostas)	15'	10'	7'	5'
Montagem fechada (superfícies juntas)	60'	40'	25'	15'

TEMPO MÍNIMO DE PRENSAGEM EM HORAS				
Temperatura ambiente, da madeira e da cola	20°C	24°C	28°C	32°C
Horas	10 a 14	8 a 10	6 a 8	5 a 6

Após a retirada das peças da prensa ou dos grampos, as colagens atingirão o máximo de resistência depois de 8 a 10 dias mantidas em repouso à temperatura ambiente (acima de 20°C).

PRENSAGEM À FRIO:

É necessário que a pressão total seja proporcional às dimensões das peças, atingindo-as de maneira uniforme, a fim de proporcionar um contato perfeito em toda a extensão pelo indicado na tabela de prensagem.



CASCOPHEN RS-216-M

PRENSAGEM À QUENTE:

Bons resultados são obtidos em prensa quente nas seguintes condições:

- Tempo de montagem: maior permitido na condição reinante (vide tabela)
- Tempo de fechamento da prensa: deve ser o mais curto possível, nunca ultrapasse 1 minuto.
- Tempo de prensagem: a 80°C calcule 5 minutos de tempo base e acrescente mais 2 minutos por milímetro até a linha de colagem mais profunda.

UMIDADE DA MADEIRA:

Para uma boa colagem, a umidade da madeira deve ser de 8 a 12%, máximo 14%. Madeira com maior teor de umidade poderá resultar colagem fraca ou defeituosa.

TEMPERATURA DE TRABALHO:

O ideal será uma temperatura de 25 a 30°C. Nas temperaturas baixas, é exigido um tempo de penetração e montagem maior. Cuidados devem ser observados quando a temperatura for baixa, pois, em ambiente frio, a penetração é menor. **NUNCA USE ABAIXO DE 20°C.** As baixas temperaturas elevam a viscosidade da cola, reduzindo sua penetração. O aquecimento posterior à aplicação na madeira não aumenta esta penetração, resultando numa colagem muito fraca ou defeituosa.

PREPARAÇÃO DA MADEIRA:

A madeira deverá ser preparada, aplainada e lixada pouco tempo antes da aplicação da cola. As movimentações, empenamentos e deformações ocorrem em menos de 48 horas após a preparação e, portanto, para a obtenção de colagens com alta qualidade e resistência, o ideal será que a preparação da madeira seja feita muito próximo à aplicação da cola.

CONDIÇÕES ESPECIAIS PARA BLOCOS GRANDES:

A resina Cascophen RS-216-M proporciona uma colagem durável com todos os tipos de madeira: há entretanto, casos de madeiras densas, duras e difíceis de serem coladas. Para estes casos especiais, os melhores resultados podem ser obtidos com a prensagem em temperaturas médias, isto é, entre 60 e 70°C durante um tempo a ser calculado, de acordo com a espessura do bloco, tomando-se como tempo base 8 a 10 horas. Aplica-se a cola nas duas faces a serem coladas e usa-se o maior tempo de penetração e montagem permitido na temperatura ambiente.

Pág. 3/5



CASCOPHEN RS-216-M

O aquecimento da colagem poderá ser feito por sistemas de prensas aquecidas, por resistências elétricas ou a vapor ou câmaras, que deverão ter equipamentos de controle de temperatura, aquecimento e resfriamento, bem como controle de umidificação.

O controle de temperatura nas linhas de colagem poderá ser feito com pirômetros de "par elétrico" instalados na linha de colagem mais profunda.

EMBALAGEM:

Cascophen RS-216-M é apresentada em:

- Galões geminados com 4 kg de resina e 800 g de Preparado Endurecedor.
- Baldes com 20 kg de resina.

O Endurecedor FM-60-M é apresentado em sacos com 25 kg.

SEGURANÇA NO MANUSEIO:

Tanto no manuseio da resina pura quanto da resina formulada, é recomendada a utilização de proteção individual, tais como, luvas, avental, etc., evitando-se sempre o contato com a pele.

No caso de contato com a pele ou com os olhos, lavar a parte afetada com água em abundância até a remoção total do produto.

Em caso de irritação, procurar cuidados médicos.

ARMAZENAGEM:

O produto deve ser armazenado em sua embalagem original, em temperatura ambiente de clima tropical, longe de fontes de calor e protegido da incidência direta de raios solares.

Se a resina engrossar, a viscosidade apropriada pode ser restituída, adicionando-se água, álcool ou uma mistura de ambos, na proporção de 60% de álcool e 40% de água.

O Preparado Endurecedor FM-60-M é estável à temperatura ambiente. Entretanto, deve-se protegê-lo de temperaturas elevadas, mantendo as embalagens bem fechadas.

Cascophen RS-216-M - Vida útil: 12 meses na temperatura de 20 °C.

Preparado Endurecedor FM-60-M – Vida útil: 6 meses na temperatura de 20 °C.



CASCOPHEN RS-216-M

CLASSIFICAÇÃO PARA TRANSPORTE:

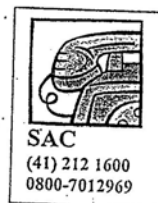
A Cascophen RS-216-M é classificada como produto líquido tóxico não especificado, sob número ONU 2810, Classe de Risco 6.1, Grupo de Risco 60, conforme Decreto 96.044 de 18/05/88 e Portaria 204 de 26/05/97.

FOLHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA:

A Borden Química dispõe da Folha de Informação de Segurança (FISP) para fornecimento, com detalhes de segurança e proteção individual, relativos à sua linha de produtos.

Este documento foi transmitido pôr via eletrônica e pôr esta razão não está assinado..

Emis.: B
Rev.: 4
14/03/02
DOC 55 / Rev. 4



Este Boletim Técnico é apenas informativo não devendo ser usado como especificação, podendo ser alterado a qualquer momento pela Borden sem qualquer consulta prévia.
As informações e recomendações aqui contidas constituem um serviço aos nossos clientes mas não os liberam de suas responsabilidades em pesquisar outras fontes de informação, nem do cumprimento de obrigações legais relativas à segurança da manipulação e ao uso do produto aqui referido.
Informações adicionais sobre aplicações podem ser solicitadas diretamente ao nosso Departamento Técnico. A Borden não assume qualquer responsabilidade pelo uso inadequado de seus produtos.

Pág. 5/5

ANEXO III

CUADROS ENSAYOS

- **ENSAYO DE CICLO DE DELAMINACION**
- **ENSAYO DE CIZALLE A TRAVES DEL ADHESIVO**
- **ENSAYO DE DENSIDAD**

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO
 VIGA N°: P1
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
P1	N° 1	593,5	1133,4	90,97	563,2	5,11	1124,0	89,39	548,0	7,67
	2	593,0	1106,9	86,66	564,1	4,87	1078,2	81,82	553,0	6,75
	3	595,9	1115,9	87,26	566,8	4,88	1124,2	88,66	550,7	7,59
	4	599,0	1108,3	85,03	570,7	4,72	1121,4	87,21	564,7	5,73
	5	599,7	1122,5	87,18	570,6	4,85	1134,2	89,13	561,0	6,45
	6	601,8	1145,3	90,31	571,7	5,00	1137,4	89,00	553,6	8,01
Promedio				87,90		4,91		87,53		7,03
Desv. Estándar				2,08		0,12		2,65		0,79

VIGA	PROBETA	línea adhesivo N°	1er ciclo delaminación en línea		2 do ciclo delaminación en línea		delaminación en línea en ambas caras (%)	delaminación en ambas caras (%)
			cara A (cm)	cara B (cm)	cara A (cm)	cara B (cm)		
P1	N° 1		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	2		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	3	3	s/delaminar	s/delaminar	2,0	2,5	4,5	6
	4		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	5		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	6	3	s/delaminar	s/delaminar	2,5	3,2	3,2	4

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO
 VIGA N°: P2
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
P2	N° 1	579,7	1212,4	109,14	552,4	4,71	1196,7	106,43	534,3	7,83
	2	577,0	1186,6	105,65	550,6	4,58	1203,9	108,65	546,3	5,32
	3	579,7	1199,1	106,85	553,0	4,61	1203,0	107,52	533,6	7,95
	4	581,0	1184,8	103,92	555,0	4,48	1216,3	109,35	542,8	6,57
	5	579,5	1197,4	106,63	552,8	4,61	1222,8	111,01	544,0	6,13
	6	584,9	1166,2	99,38	560,1	4,24	1223,0	109,10	540,8	7,54
Promedio				105,26		4,54		108,68		6,89
Desv. Estándar				3,05		0,15		1,44		0,96

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A	delaminación en línea cara B	delaminación en línea cara A	delaminación en línea cara B	
P2	N° 1	N°	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
	1		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0
	2		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0
	3	2	s/delaminar	s/delaminar	2,4	s/delaminar	3
	4	2	s/delaminar	s/delaminar	3,9	s/delaminar	5
	5	2	s/delaminar	s/delaminar	2,3	s/delaminar	3
6	2	s/delaminar	s/delaminar	2,5	s/delaminar	3	

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO
 VIGA N°: P3
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
P3	1	558,2	1159,5	107,74	531,2	4,83	1102,2	97,47	518,2	7,16
	2	558,1	1160,7	107,96	531,1	4,84	1086,8	94,72	527,4	5,51
	3	549,2	1152,7	109,88	521,7	5,01	1046,3	90,51	503,1	8,40
	4	560,8	1188,2	111,88	532,8	4,99	1068,4	90,51	522,6	6,81
	5	563,8	1196,3	112,17	535,8	4,97	1058,8	87,79	528,3	6,30
	6	550,4	1181,8	114,71	521,7	5,22	1034,2	87,89	510,4	7,27
Promedio				110,72		4,98		91,48		6,91
Desv. Estándar				2,47		0,13		3,53		0,89

VIGA	PROBETA	línea adhesivo N°	1er ciclo delaminación en línea		2 do ciclo delaminación en línea		delaminación en línea en ambas caras (%)	delaminación en ambas caras (%)
			cara A (cm)	cara B (cm)	cara A (cm)	cara B (cm)		
P3	1		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	2	2	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	1,4	2
	3	4	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	3,3	4
	4	2	s/delaminar	s/delaminar	1,9	s/delaminar	4,9	6
	5	2	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	1,6	2
		4	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	2,5	3
6	2	s/delaminar	s/delaminar	2,0	s/delaminar	4,4	6	

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT1
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
PT1	1	578,7	1018,6	76,02	543,4	6,10	1044,8	80,54	546,7	5,53
	2	590,6	1034,6	75,18	561,1	4,99	1034,8	75,21	553,4	6,30
	3	596,9	1029,2	72,42	558,5	6,43	1038,1	73,92	562,2	5,81
	4	590,2	1014,0	71,81	553,5	6,22	1024,5	73,59	553,6	6,20
	5	590,1	1010,8	71,29	548,2	7,10	1027,6	74,14	561,8	4,80
	6	593,8	1033,1	73,98	558,2	6,00	1034,1	74,15	562,2	5,32
Promedio				73,45		6,14		75,26		5,66
Desv. Estándar				1,74		0,63		2,42		0,52

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras	delaminación en línea en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A	delaminación en línea cara B	delaminación en línea cara A	delaminación en línea cara B		
PT1	1	N°	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
			s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	2		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	3	2	s/delaminar	s/delaminar	2,5	s/delaminar	2,5	3
	4	3	s/delaminar	2,0	s/delaminar	2,6	2,6	3
	5		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	6		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0	

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT2
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
PT2	N° 1	667,8	1156,0	73,11	631,2	5,48	1104,9	65,45	630,6	5,57
	2	666,9	1122,6	68,33	632,7	5,13	1209,1	81,30	627,3	5,94
	3	670,3	1113,6	66,13	637,2	4,94	1183,6	76,58	626,0	6,61
	4	658,7	1105,8	67,88	624,8	5,15	1200,8	82,30	621,8	5,60
	5	660,5	1094,1	65,65	627,7	4,97	1164,2	76,26	626,3	5,18
	6	671,4	1107,0	64,88	639,0	4,83	1182,4	76,11	642,4	4,32
Promedio				67,66		5,08		76,33		5,54
Desv. Estándar				2,72		0,21		5,46		0,70

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	
PT2	N° 1	3	s/delaminar	2,2	s/delaminar	2,5	3
	2		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	3	3	s/delaminar	2,0	1,4	2,4	5
	4		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	5	3	s/delaminar	1,7	1,1	2,5	5
	6	3	s/delaminar	1,8	s/delaminar	2,6	3

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT3
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
PT3	1	704,2	1173,9	66,69	656,6	6,77	1244,4	76,70	659,9	6,29
	2	680,1	1169,8	72,01	646,3	4,97	1256,1	84,69	636,6	6,40
	3	682,0	1159,1	69,97	642,9	5,73	1239,0	81,68	646,0	5,27
	4	668,0	1160,6	73,73	631,1	5,53	1232,9	84,55	636,2	4,77
	5	675,6	1107,2	63,88	640,6	5,18	1183,2	75,13	638,4	5,51
	6	672,6	1147,6	70,62	621,8	7,55	1228,3	82,62	620,9	7,69
Promedio				69,48		5,95		80,90		5,99
Desv. Estándar				3,29		0,91		3,70		0,95

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras	delaminación en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)		
PT3	1	N°	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	2	4	s/delaminar	2,0	s/delaminar	2,6	2,6	3
	3	4	s/delaminar	1,9	s/delaminar	2,5	2,5	3
	4	4	s/delaminar	1,8	2,0	2,3	4,3	6
	5		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	6		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E1
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión	aumento peso	peso luego 21h. horno	disminución en relación peso inicial	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión	aumento peso en relación a peso inicial	peso final luego de 42 h. horno	disminución en relación peso inicial
N°	N°	(gr)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)
E1	1	602,4	870,6	44,51	593,8	1,43	893,2	48,27	586,5	2,64
	2	601,1	878,7	46,17	593,7	1,24	894,5	48,80	586,1	2,50
	3	600,7	873,3	45,38	591,4	1,55	891,3	48,38	579,8	3,48
	4	622,8	898,4	44,26	608,0	2,37	914,4	46,83	605,2	2,82
	5	631,8	911,4	44,27	614,2	2,78	923,4	46,17	611,5	3,21
	6	631,4	921,0	45,87	616,5	2,36	929,5	47,22	615,1	2,58
Promedio				45,08		1,95		47,61		2,87
Dev. Estándar				0,77		0,57		0,94		0,36

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A	delaminación en línea cara B	delaminación en línea en ambas caras	delaminación en ambas caras	
N°	N°	N°	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
E1	1	2		2,0	2,0	2,0	3
		3	3,5	1,0	4,0	5,2	7
	2	3	s/delaminar	1,5	s/delaminar	2,0	3
	3	3	s/delaminar	2,5	s/delaminar	3,0	4
	4		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
	5		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0
6	2		s/delaminar	3,7	s/delaminar	5,5	7

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E2
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
E2	1	641,8	895,5	39,53	614,6	4,24	897,5	39,84	621,1	3,23
	2	648,5	899,0	38,63	617,3	4,81	901,6	39,03	623,6	3,84
	3	644,6	899,2	39,50	612,4	5,00	903,0	40,09	626,8	2,76
	4	638,0	896,9	40,58	608,9	4,56	894,3	40,17	618,1	3,12
	5	646,1	903,4	39,82	612,4	5,22	908,5	40,61	630,1	2,48
	6	640,0	894,6	39,78	610,5	4,61	898,1	40,33	622,7	2,70
Promedio				39,64		4,74		40,01		3,02
Desv. Estándar				0,58		0,32		0,50		0,44

VIGA	PROBETA	línea adhesivo N°	1er ciclo delaminación en línea		2 do ciclo delaminación en línea		delaminación en línea en ambas caras (%)
			cara A (cm)	cara B (cm)	cara A (cm)	cara B (cm)	
E2	1	1	1,6	s/delaminar	2,3	s/delaminar	3
	2	3	s/delaminar	s/delaminar	2,5	s/delaminar	3
	3		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0
	4	3	1,8	2,0	2,4	2,3	6
	5		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0
	6		s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E3
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
E3	1	636,5	928,7	45,91	616,4	3,16	913,2	43,47	618,0	2,91
	2	633,5	925,3	46,06	612,9	3,25	902,8	42,51	617,2	2,57
	3	622,2	921,1	48,04	603,3	3,04	900,3	44,70	607,5	2,36
	4	616,5	930,4	50,92	598,6	2,90	909,1	47,46	602,3	2,30
	5	628,4	920,6	46,50	606,9	3,42	895,2	42,46	611,6	2,67
	6	630,2	914,7	45,14	606,7	3,73	888,5	40,99	614,7	2,46
Promedio				47,09		3,25		43,60		2,55
Desv. Estándar				1,92		0,27		2,06		0,20

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras (%)	
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea en ambas caras (cm)	delaminación en línea en ambas caras (%)		
E3	1	N° 1	s/delaminar	s/delaminar	2,4	2,4	3	
								4
	2	4	1,8	3,0	5,5	7		
							3	s/delaminar
	4	1	s/delaminar	s/delaminar	1,3	2,0		
							5	4
6	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0,0	0		

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET1
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 21h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
ET1	1	624,0	815,0	30,61	614,9	1,46	773,0	23,88	596,5	4,41
	2	613,3	810,1	32,09	604,0	1,52	761,9	24,23	584,7	4,66
	3	609,5	804,4	31,98	602,0	1,23	761,1	24,87	584,3	4,13
	4	591,7	768,5	29,88	582,8	1,50	730,8	23,51	568,5	3,92
	5	585,8	769,8	31,41	575,1	1,83	722,8	23,39	558,8	4,61
	6	593,0	774,1	30,54	579,0	2,36	728,1	22,78	567,6	4,28
Promedio				31,08		1,65		23,78		4,34
Desv. Estándar				0,80		0,36		0,66		0,26

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras (cm)	delaminación en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)		
ET1	1	N° 3	2,0		2,5		2,5	3
		4		2,4		2,8	2,8	4
	2	3	2,5		2,8		2,8	4
		4		2,6		3,0	3,0	4
	3	4	s/delaminar	2,6	s/delaminar	3,0	3,0	4
	4	4	2,1 s/delaminar	2,1	s/delaminar	3,2 s/delaminar	3,2	4
	5	3 s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	2,5	2,8	4	
	4	4		2,5		2,5	3	
	6	3		1,8		2,5	3	
		4	2,6		3,0	3,0	4	

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET2
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA N°	PROBETA N°	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión		aumento peso (%)		peso luego 21h. horno		disminución en relación peso inicial (%)		peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión		aumento peso en relación a peso inicial (%)		peso final luego de 42 h. horno		disminución en relación peso inicial (%)	
			(gr)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
ET2	1	658,0	896,7	896,7	36,29	645,7	1,87	864,7	864,7	31,43	639,7	639,7	31,43	639,7	2,77			
	2	644,1	879,4	879,4	36,54	630,6	2,08	848,7	848,7	31,77	623,7	623,7	31,77	623,7	3,16			
	3	656,1	897,3	897,3	36,77	636,4	3,00	864,6	864,6	31,78	625,0	625,0	31,78	625,0	4,74			
	4	651,2	880,0	880,0	35,12	626,0	3,87	846,5	846,5	29,98	621,7	621,7	29,98	621,7	4,53			
	5	644,8	857,9	857,9	33,06	615,0	4,62	826,3	826,3	28,16	619,1	619,1	28,16	619,1	3,98			
	6	638,3	850,4	850,4	33,24	612,8	3,99	819,4	819,4	28,38	613,1	613,1	28,38	613,1	3,94			
Promedio					35,17		3,24		3,24		30,25		30,25		3,85			
Desv. Estándar					1,52		1,01		1,01		1,53		1,53		0,70			

VIGA N°	PROBETA N°	línea adhesivo N°	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras		delaminación en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea en ambas caras (%)		
ET2	1	3	s/delaminar	1,8	s/delaminar	2,4	2,4	3	6
		4		2,0		2,4	3		
		1	1,5	s/delaminar	2,0		3		
		3		1,5		1,5	2		
3	4	3	1,4	s/delaminar	2,0	s/delaminar	1,0	1	5
		4	1,5		2,0		3		
		2	s/delaminar	1,8		2,0	3		
		3		2,0		3,7	5		
5	2	3	s/delaminar	0,8	1,0	1,8	1,8	2	3
		3		0,7		0,7	1		
		1	s/delaminar		s/delaminar	2,0	2,0	3	
		2		2,0		2,4	3		
6	2	3			s/delaminar	2,0	2,4	3	6
		4		2,0		2,4	3		

ENSAYO DE DELAMINACION

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET3
 dimensiones (cm) 7,60 x 12,70 x 11,40
 CH (%) 12
 Número líneas de cola por cara 5
 Longitud línea de cola ambas caras (cm) 76

VIGA	PROBETA	peso inicial (gr)	peso luego 1er ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso (%)	peso luego 2°h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)	peso luego 2do ciclo vacío, inmersión, presión (gr)	aumento peso en relación a peso inicial (%)	peso final luego de 42 h. horno (gr)	disminución en relación peso inicial (%)
ET3	1	636,5	829,7	30,35	618,7	2,80	808,4	27,01	608,7	4,37
	2	628,8	823,3	30,93	611,2	2,80	804,9	28,01	601,2	4,39
	3	634,6	830,4	30,85	613,4	3,34	812,3	28,00	603,4	4,92
	4	632,3	835,3	32,11	616,3	2,53	815,7	29,01	606,3	4,11
	5	621,2	827,4	33,19	605,1	2,59	807,6	30,01	595,1	4,20
	6	633,5	844,6	33,32	619,4	2,23	823,6	30,01	614,4	3,01
Promedio				31,79		2,71		28,67		4,17
Dev. Estándar				1,16		0,34		1,11		0,57

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	1er ciclo		2 do ciclo		delaminación en línea en ambas caras (%)
			delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	delaminación en línea cara A (cm)	delaminación en línea cara B (cm)	
ET3	1	N°	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	s/delaminar	0
	2	4	3,0	s/delaminar	3,5	s/delaminar	5
	3	4	2,1		2,5		3
	4	5	2,0	1,1	2,4	1,6	5
	5	4	2,0		2,4		3
	6	5	1,2	1,1	1,8	1,5	6
	1	4	s/delaminar	2,2	2,0	2,8	6
	2	5	1,4	1,4	1,8	1,8	2
	3	4	2,6	2,6	1,5	3,6	7
	4	5	1,2	1,2	1,4	1,4	2
	5	4					
	6	5					

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO
 VIGA N°: P1
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	recistencia al cizalle	porcentaje de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
PT1	1	1	1597	82	90
		2	1654	85	85
		3	1768	91	76
		4	1616	83	75
		5	2129	109	80
	2	1	1426	73	70
		2	1920	98	78
		3	1863	96	73
		4	1749	90	75
		5	2186	112	90
	3	1	1426	73	70
		2	1863	96	64
		3	1806	93	74
		4	1863	96	70
		5	1464	75	78
	4	1	2091	107	75
		2	1426	73	80
		3	1730	89	58
		4	1787	92	84
		5	1464	75	86
	5	1	1521	78	82
		2	1654	85	75
		3	2129	109	85
		4	1901	97	80
		5	2091	107	80
	6	1	1996	102	100
		2	1901	97	70
		3	1863	96	80
		4	1616	83	70
		5	1426	73	75
máximo			2186	112	100
mínimo			1426	73	58
promedio			1764	90	78
desv.est.			236	12,09	8,32
C.V.%			13,36	13,36	10,72

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO
 VIGA N°: P2
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	recistencia al cizalle	porcentaje de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
PT2	1	1	1331	68	80
		2	2395	123	86
		3	1578	81	60
		4	1901	97	86
		5	2186	112	72
	2	1	1388	71	75
		2	2186	112	76
		3	2281	117	82
		4	1616	83	75
		5	1901	97	76
	3	1	1521	78	78
		2	1806	93	85
		3	1996	102	68
		4	2281	117	74
		5	1996	102	84
	4	1	1654	85	70
		2	1863	96	60
		3	1711	88	87
		4	2015	103	70
		5	1844	95	72
	5	1	1806	93	84
		2	1711	88	72
		3	1806	93	55
		4	1711	88	70
		5	1901	97	79
	6	1	2414	124	95
		2	2186	112	76
		3	1730	89	54
		4	1996	102	96
		5	1616	83	80
máximo			2414	124	96
mínimo			1331	68	54
promedio			1878	96	76
desv.est.			281	14,43	10,23
C.V.%			14,98	14,98	13,48

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO
 VIGA N°: P3
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	recistencia al cizalle	porcentaje de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
PT3	1	1	1616	83	76
		2	2015	103	80
		3	1768	91	70
		4	2414	124	78
		5	2509	129	95
	2	1	2129	109	73
		2	2338	120	80
		3	2091	107	74
		4	2471	127	62
		5	2376	122	76
	3	1	2471	127	85
		2	2338	120	80
		3	2091	107	100
		4	2433	125	56
		5	2186	112	78
	4	1	2186	112	70
		2	2167	111	80
		3	1768	91	76
		4	2281	117	58
		5	2091	107	75
	5	1	2205	113	75
		2	2338	120	83
		3	2091	107	70
		4	1825	94	85
		5	2091	107	78
	6	1	2091	107	70
		2	2376	122	75
		3	1806	93	75
		4	1806	93	80
		5	1616	83	78
máximo			2509	129	100
mínimo			1616	83	56
promedio			2133	109	76
desv.est.			260	13,31	8,98
C.V.%			12,17	12,17	11,76

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT1
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
P1	1	1	1853	95	80
		2	1806	93	86
		3	2091	107	70
		4	1331	68	92
		5	1806	93	75
	2	1	1853	95	84
		2	1236	63	80
		3	2091	107	75
		4	1008	52	90
		5	1711	88	70
	3	1	1616	83	80
		2	2186	112	85
		3	1521	78	68
		4	1426	73	100
		5	1521	78	80
	4	1	1996	102	90
		2	1521	78	60
		3	1616	83	70
		4	1521	78	84
		5	2091	107	50
	5	1	2167	111	65
		2	1635	84	72
		3	1426	73	84
		4	1787	92	70
		5	2110	108	80
	6	1	1663	85	84
		2	2110	108	55
		3	1141	58	64
		4	1445	74	65
		5	1863	96	70
máximo			2186	112	100
mínimo			1008	52	50
promedio			1705	87	76
desv.est.			314	16,08	11,21
C.V.%			18,39	18,39	14,77

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT2
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
P2	1	1	1616	83	78
		2	1331	68	75
		3	1283	66	86
		4	1901	97	70
		5	1331	68	80
	2	1	1331	68	65
		2	1825	94	70
		3	1901	97	75
		4	1758	90	75
		5	998	51	80
	3	1	1758	90	70
		2	1521	78	55
		3	1711	88	80
		4	1996	102	86
		5	2091	107	80
	4	1	1369	70	95
		2	1426	73	50
		3	1141	58	70
		4	1578	81	84
		5	1473	76	80
	5	1	1787	92	84
		2	1806	93	60
		3	2129	109	90
		4	1768	91	95
		5	2015	103	80
	6	1	1521	78	78
		2	1331	68	65
		3	1426	73	75
		4	1996	102	85
		5	1179	60	82
máximo			2129	109	95
mínimo			998	51	50
promedio			1610	83	77
desv.est.			305	15,62	10,54
C.V.%			18,92	18,92	13,75

ENSAYO DE CORTE

MADERA: PINO IMPREGNADO
 VIGA N°: PT3
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	daN/cm ²	%
P3	1	1	1901	97	84
		2	1388	71	75
		3	1464	75	76
		4	2091	107	78
		5	1806	93	84
	2	1	1958	100	85
		2	1882	97	55
		3	1426	73	52
		4	1616	83	72
		5	1521	78	64
	3	1	2015	103	75
		2	1445	74	70
		3	1711	88	80
		4	1977	101	60
		5	1445	74	88
	4	1	1188	61	80
		2	1806	93	68
		3	1806	93	78
		4	1236	63	92
		5	1521	78	100
	5	1	1445	74	88
		2	1901	97	55
		3	2034	104	75
		4	1958	100	84
		5	1901	97	70
	6	1	1939	99	90
		2	1426	73	64
		3	2034	104	85
		4	1236	63	70
		5	1901	97	84
máximo			2091	107	100
mínimo			1188	61	52
promedio			1699	87	76
desv.est.			278	14,24	11,70
C.V.%			16,34	16,34	15,38

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E1
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
E1	1	1	2091	107	88
		2	2471	127	100
		3	1996	102	84
		4	2899	149	100
		5	1711	88	93
	2	1	1236	63	86
		2	2585	133	60
		3	2528	130	60
		4	1901	97	86
		5	1654	85	100
	3	1	1901	97	78
		2	2718	139	91
		3	2224	114	100
		4	1996	102	86
		5	1711	88	100
	4	1	2471	127	100
		2	2642	136	92
		3	2680	137	92
		4	2661	136	80
		5	1616	83	100
	5	1	1331	68	82
		2	2376	122	100
		3	2471	127	100
		4	2281	117	95
		5	1616	83	100
	6	1	1806	93	100
		2	2091	107	72
		3	2756	141	100
		4	2186	112	85
		5	1426	73	100
máximo			2899	149	100
mínimo			1236	63	60
promedio			2134	109	90
desv.est.			457	23,46	11,38
C.V.%			21,43	21,43	12,60

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E2
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
E2	1	1	1749	90	100
		2	2585	133	92
		3	1768	91	97
		4	1844	95	100
		5	1996	102	92
	2	1	2471	127	85
		2	2091	107	66
		3	1616	83	60
		4	2167	111	100
		5	2091	107	100
	3	1	2376	122	96
		2	2433	125	82
		3	1692	87	100
		4	1996	102	100
		5	2300	118	100
	4	1	2015	103	90
		2	2471	127	72
		3	2129	109	100
		4	2015	103	92
		5	2110	108	60
	5	1	2566	132	100
		2	3042	156	90
		3	2091	107	90
		4	1901	97	84
		5	2186	112	100
	6	1	2566	132	100
		2	2851	146	88
		3	1711	88	66
		4	1521	78	70
		5	2281	117	100
máximo			3042	156	100
mínimo			1521	78	60
promedio			2154	110	89
desv.est.			364	18,67	13,24
C.V.%			16,90	16,90	14,86

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO
 VIGA N°: E3
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
E3	1	1	1217	62	77
		2	1806	93	78
		3	1502	77	100
		4	1568	80	92
		5	1521	78	100
	2	1	2281	117	90
		2	1901	97	90
		3	1768	91	81
		4	1521	78	90
		5	1996	102	100
	3	1	2091	107	100
		2	1616	83	72
		3	1825	94	90
		4	1502	77	72
		5	1521	78	100
	4	1	2034	104	100
		2	1844	95	80
		3	1996	102	66
		4	1901	97	100
		5	2224	114	81
	5	1	2167	111	100
		2	1274	65	92
		3	1616	83	100
		4	1654	85	86
		5	2186	112	84
	6	1	2167	111	80
		2	1787	92	79
		3	2205	113	72
		4	1654	85	70
		5	2357	121	83
máximo			2357	121	100
mínimo			1217	62	66
promedio			1823	94	87
desv.est.			306	15,71	10,93
C.V.%			16,80	16,80	12,59

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET1
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
ET1	1	1	1844	95	82
		2	2034	104	100
		3	1616	83	70
		4	1806	93	68
		5	2139	110	92
	2	1	1692	87	63
		2	2186	112	68
		3	1540	79	68
		4	1521	78	70
		5	1692	87	72
	3	1	1901	97	72
		2	1958	100	100
		3	1711	88	82
		4	1616	83	72
		5	2091	107	83
	4	1	2167	111	64
		2	1711	88	68
		3	1426	73	79
		4	1806	93	85
		5	1521	78	70
	5	1	1616	83	80
		2	1711	88	83
		3	1844	95	78
		4	1502	77	60
		5	1901	97	94
	6	1	1521	78	70
		2	1331	68	85
		3	1378	71	83
		4	1426	73	70
		5	1369	70	82
máximo			2186	112	100
mínimo			1331	68	60
promedio			1719	88	77
desv.est.			249	12,76	10,47
C.V.%			14,47	14,47	13,58

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET2
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
ET2	1	1	1597	82	72
		2	1673	86	82
		3	1844	95	79
		4	1521	78	70
		5	2186	112	85
	2	1	2224	114	69
		2	1426	73	65
		3	2129	109	64
		4	1825	94	56
		5	2319	119	87
	3	1	1426	73	65
		2	1388	71	81
		3	1426	73	75
		4	1920	98	72
		5	2091	107	70
	4	1	1483	76	70
		2	1407	72	60
		3	1806	93	100
		4	1844	95	70
		5	2110	108	72
	5	1	1825	94	70
		2	1768	91	81
		3	1407	72	80
		4	1825	94	65
		5	2357	121	70
	6	1	2167	111	60
		2	1901	97	71
		3	2091	107	76
		4	1331	68	70
		5	2281	117	80
máximo			2357	121	100
mínimo			1331	68	56
promedio			1820	93	73
desv.est.			323	16,56	9,11
C.V.%			17,75	17,75	12,49

ENSAYO DE CORTE

MADERA: EUCALIPTO IMPREGNADO
 VIGA N°: ET3
 sección probeta escalonada (cm) 5,00 x 4,50
 sección contacto (cm) 5,00 x 3,90
 CH (%) 12

VIGA	PROBETA	línea adhesivo	carga rotura	resistencia al cizalle	falla de madera
N°	N°	N°	daN	MPa	%
ET3	1	1	2186	112	87
		2	2091	107	95
		3	1654	85	73
		4	1806	93	70
		5	2281	117	80
	2	1	1806	93	90
		2	1578	81	80
		3	1711	88	100
		4	2281	117	70
		5	2471	127	75
	3	1	1616	83	81
		2	2015	103	100
		3	2281	117	100
		4	1578	81	78
		5	2034	104	67
	4	1	2224	114	74
		2	1787	92	74
		3	2243	115	61
		4	1521	78	70
		5	1711	88	60
	5	1	1844	95	60
		2	1768	91	93
		3	1426	73	50
		4	2186	112	64
		5	2357	121	74
	6	1	1331	68	100
		2	1806	93	94
		3	1711	88	90
		4	1236	63	60
		5	2034	104	83
máximo			2471	127	100
mínimo			1236	63	50
promedio			1886	97	78
desv.est.			326	16,73	14,09
C.V.%			17,30	17,30	17,96

ENSAYO DE DENSIDAD

ESPECIE: pinus elliotti

VIGA N°	PROBETA N°	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO 20hs (grs)	PESO 24hs (grs)	PESO 28hs (grs)	DIMENSION FINAL (mm)			VOLUMEN ANHIDRO (cm ³)	DENSIDAD ANHIDRA (g/cm ³)
						a	b	c		
P1	1	12	3,3	3,3	3,3	20,35	19,93	18,45	7,483	0,44
	2	13	3,9	3,9	3,9	20,39	19,90	18,03	7,316	0,53
	3	14	4,2	4,2	4,2	20,69	20,37	18,22	7,679	0,55
	4	12	4,1	4,1	4,1	20,69	21,06	18,08	7,878	0,52
	5	13	3,9	3,9	3,9	19,67	20,19	17,75	7,049	0,55
	6	13	3,1	3,1	3,1	20,19	21,06	18,57	7,896	0,39
	Media									
P2	1	10	4,0	4,0	4,0	20,61	19,90	18,62	7,637	0,52
	2	12	3,4	3,4	3,4	19,51	20,40	18,09	7,200	0,47
	3	12	4,2	4,2	4,2	20,95	21,69	18,39	8,357	0,50
	4	14	3,6	3,6	3,6	20,21	20,84	18,17	7,653	0,47
	5	15	2,6	2,6	2,6	21,25	20,03	17,70	7,534	0,35
	6	11	3,6	3,6	3,6	20,67	20,63	18,13	7,731	0,47
	Media									
P3	1	14	3,6	3,6	3,6	21,09	20,74	18,60	8,136	0,44
	2	13	3,2	3,2	3,2	20,55	21,62	18,26	8,113	0,39
	3	12	3,4	3,4	3,4	20,56	20,19	18,05	7,493	0,45
	4	14	3,7	3,7	3,7	20,85	20,27	18,03	7,620	0,49
	5	11	3,5	3,5	3,5	20,24	21,27	18,42	7,930	0,44
	6	11	3,7	3,7	3,7	20,77	20,22	18,68	7,845	0,47
	Media									
PT1	1	15	3,4	3,4	3,4	20,71	19,97	18,69	7,730	0,44
	2	12	4,1	4,1	4,1	21,15	20,32	18,42	7,916	0,52
	3	12	3,4	3,4	3,4	19,98	20,28	18,38	7,447	0,46
	4	15	3,4	3,4	3,4	20,03	20,44	17,17	7,030	0,48
	5	13	3,9	3,9	3,9	20,96	20,42	18,20	7,790	0,50
	6	15	4,0	4,0	4,0	20,74	20,78	18,64	8,033	0,50
	Media									
PT2	1	12	4,3	4,3	4,3	20,47	19,99	18,92	7,742	0,56
	2	16	3,8	3,8	3,8	20,24	19,71	18,87	7,528	0,50
	3	13	3,9	3,9	3,9	20,52	18,88	18,59	7,202	0,54
	4	14	4,2	4,2	4,2	20,09	20,17	18,55	7,517	0,56
	5	13	3,9	3,9	3,9	20,39	19,97	18,71	7,618	0,51
	6	14	4,2	4,2	4,2	20,65	20,40	18,82	7,928	0,53
	Media									
PT3	1	13	4,5	4,5	4,5	20,24	21,23	18,73	8,048	0,56
	2	14	3,7	3,7	3,7	19,79	20,34	18,94	7,624	0,49
	3	13	3,1	3,1	3,1	19,85	19,86	18,31	7,218	0,43
	4	13	4,8	4,8	4,8	20,66	21,17	18,90	8,266	0,58
	5	13	4,0	4,0	4,0	20,47	19,91	18,57	7,568	0,53
	6	14	4,4	4,4	4,4	19,62	19,86	18,89	7,361	0,60
	Media									
Media										0,49

ENSAYO DE DENSIDAD

ESPECIE: eucalyptus grandis

VIGA N°	PROBETA N°	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO 20hs (grs)	PESO 24hs (grs)	PESO 28hs (grs)	DIMENSION FINAL (mm)			VOLUMEN ANHIDRO (cm ³)	DENSIDAD ANHIDRA (g/cm ³)
						a	b	c		
E1	1	16	3,2	3,1	3,1	19,76	19,28	17,82	6,789	0,46
	2	13	4,6	4,5	4,5	19,53	20,16	17,46	6,874	0,65
	3	14	4,2	4,2	4,2	20,33	19,11	17,64	6,853	0,61
	4	11	3,6	3,6	3,6	20,16	19,68	17,55	6,963	0,52
	5	12	4,2	4,2	4,2	20,44	19,98	17,67	7,216	0,58
	6	12	2,6	2,6	2,6	20,31	20,16	17,34	7,100	0,37
	Media									
E2	1	14	3,7	3,6	3,6	19,38	20,67	17,67	7,078	0,51
	2	14	3,7	3,7	3,7	19,19	18,36	17,67	6,226	0,59
	3	12	4,3	4,3	4,3	19,25	20,08	17,94	6,935	0,62
	4	13	3,0	3,0	3,0	20,07	20,66	17,21	7,136	0,42
	5	14	4,3	4,3	4,3	19,44	20,33	18,15	7,173	0,60
	6	13	3,8	3,8	3,8	19,81	20,34	17,86	7,196	0,53
	Media									
E3	1	11	4,4	4,4	4,4	20,01	20,22	17,72	7,170	0,61
	2	13	3,2	3,2	3,2	20,15	19,46	17,01	6,670	0,48
	3	12	3,3	3,3	3,3	20,82	19,81	17,82	7,350	0,45
	4	13	3,1	3,1	3,1	20,27	19,57	16,65	6,605	0,47
	5	13	5,4	5,4	5,4	20,56	19,46	17,31	6,926	0,78
	6	13	3,1	3,1	3,1	19,45	20,41	18,07	7,173	0,43
	Media									
ET1	1	11	3,5	3,5	3,5	19,95	20,35	18,21	7,393	0,47
	2	13	3,8	3,8	3,8	19,97	20,62	18,11	7,457	0,51
	3	11	3,5	3,5	3,5	19,05	20,44	18,31	7,130	0,49
	4	13	4,6	4,6	4,6	19,07	19,71	18,38	6,908	0,67
	5	15	4,1	4,1	4,1	19,47	20,18	18,08	7,104	0,58
	6	14	3,5	3,5	3,5	19,74	20,32	18,19	7,296	0,48
	Media									
ET2	1	13	3,9	3,9	3,9	19,41	20,33	18,60	7,340	0,53
	2	12	4,1	4,1	4,1	20,48	19,78	18,37	7,442	0,55
	3	11	3,5	3,5	3,5	20,70	19,49	18,47	7,452	0,47
	4	14	3,5	3,5	3,5	20,40	20,12	18,22	7,478	0,47
	5	11	3,6	3,6	3,6	18,78	19,19	18,03	6,498	0,55
	6	14	3,7	3,7	3,7	19,62	18,97	18,27	6,800	0,54
	Media									
ET3	1	13	4,0	4,0	4,0	20,02	18,20	18,17	6,620	0,60
	2	13	3,2	3,2	3,2	19,92	20,74	17,76	7,337	0,44
	3	12	3,3	3,3	3,3	19,53	20,31	18,06	7,164	0,46
	4	11	4,5	4,5	4,5	19,98	20,33	18,03	7,324	0,61
	5	13	3,8	3,8	3,8	19,64	20,53	18,30	7,379	0,51
	6	13	4,7	4,7	4,7	19,59	20,36	18,42	7,347	0,64
	Media									
Media										0,54