

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ADHESIÓN
EN LA MADERA LAMINADA ENCOLADA
(MLE) DE TRES ESPECIES FORESTALES PARA
LA FABRICACIÓN DE VIGAS DE MADERA.**

Presentado por:

Oscar Angel Parra Barreda

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima -
Perú 2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **OSCAR ANGEL PARRA BARREDA**, intitulado “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ADHESIÓN EN LA MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE) DE TRES ESPECIES FORESTALES PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS DE MADERA.”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 30 de Octubre de 2018

.....
Mg. Sc. Moisés Acevedo Mallque
Presidente

.....
Mg. Sc. Leonidas Miguel Castro
Miembro

.....
Ing. Neptalí Bustamante Guillén
Miembro

.....
Mg. Sc. José Carlos Cano Delgado
Asesor

.....
Mg. Sc. Julio Canchucaya Rojas
Coasesor

DEDICATORIA

A JAH

A toda mi familia

A mí querido club Universitario de Deportes

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A los profesores Julio Canchucaja Rojas y José Carlos Cano por el apoyo, orientación, consejos y tiempo brindado para la realización de mi tesis.

Al profesor Moisés Acevedo y el Sr. Vicente Cuba por su colaboración en la realización de los ensayos en el laboratorio Laboratorio de tecnología de la Madera.

A los profesores Neptalí Bustamante, Martín Araujo, Leonidas Miguel, por compartir sus conocimientos y recomendaciones sobre el tema.

A mis familiares Rosario, Niltito, Martín, Peregrina, Yadhira, Roberto y a mi novia Joannie Narvaez por su paciencia y confianza para la realización de la tesis.

A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la realización y término de esta investigación.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de adhesión de madera laminada encolada (MLE) de Pino (*Pinus patula* Schlecht et Cham), Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) para la fabricación de vigas (cruquetas) de madera, de dos secciones, utilizando como cola un copolimero a base de melanina urea formaldehído (MUF). Se fabricaron diez vigas laminadas de dos secciones (90mm x 115mm y 102mm x 127mm) y de 1,5 m de longitud por especie, con los parámetros de laminación recomendados en la literatura consultada y en la ficha técnica del adhesivo empleado. El encolado de las piezas se realizó en una cara, utilizando un gramaje de 350 g/m² y las vigas encoladas se prensaron con una presión de 0,7 MPa por un tiempo de 4 horas a temperatura ambiente. Se evaluó la resistencia de los planos de encolado mediante los ensayos de esfuerzo cortante y delaminación (clase de servicio 3) de acuerdo a la Norma UNE-EN 14080:2013. Para el ensayo de esfuerzo cortante se aplicó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con la prueba de Tukey a un 95 por ciento de significancia demostrando que existen diferencias significativas para los valores entre especies; sin embargo, para los análisis de las secciones y las interacciones no presentan diferencias significativas. Para el ensayo de delaminación se aplicó la prueba de Friedman, explicando que existen diferencias en los tratamientos de tornillo y eucalipto. A partir de los resultados obtenidos se determinó que el proceso de laminación del Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke) de ambas secciones es exitoso, pues los valores encontrados cumplen con los requisitos de la norma UNE-EN 14080:2013, demostrando su viabilidad de uso para madera laminada encolada para su uso en la clase de servicio 3.

Palabras claves: Madera laminada encolada, esfuerzo cortante, delaminación, melanina urea formaldehído, gramaje, presión.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura.....	3
1. Aspectos generales de la madera laminada encolada (MLE).....	3
1.1. Madera laminada encolada (MLE)	3
1.2. Evaluación de calidad de adhesión de la MLE.....	4
2. Aspectos básicos sobre la teoría de la adhesión.....	7
2.1. Adhesivo.....	7
2.2. Adhesión.....	8
2.3. Teoría de la adhesión.....	9
3. Factores de la madera que afectan la resistencia de una unión encolada.....	10
3.1. Densidad.....	10
3.2. Contenido de humedad	11
3.3. Calidad de la superficie.....	11
3.4. Composición química de la madera.....	11
4. Características generales de las especies a evaluar.....	12
III. Materiales y Métodos	19
1. Lugar de ejecución	19
2. Material experimental	19
3. Adhesivo	19
4. Equipos y herramientas.....	19
5. Metodología y procedimiento	20
5.1. Verificación de la especie.....	20
5.2. Evaluación del contenido de humedad de equilibrio de la Molina.....	20
5.3. Determinación de las propiedades físicas de la madera.....	21
5.4. Determinación del cizallamiento de la madera sólida.....	21
6. Fabricación de las vigas	21
6.1. Proceso de fabricación.....	22
7. Preparación de probetas	30
8. Ensayos de esfuerzo cortante.....	33
9. Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola.....	34
10. Estimación del porcentaje de madera fallada.....	34
11. Calificación de la unión encolada.....	35
12. Ensayo de delaminación.....	35
13. Determinación de la delaminación en la línea de cola	37
14. Análisis estadístico.....	38
IV. Resultados y discusión.....	41
1. Propiedades físicas de la madera	41
2. Resistencia al cizallamiento.....	42
3. Resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola.....	43
4. Calificación de la unión encolada	47
5. Delaminación en la línea de cola	49
6. Variabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante y delaminación en la línea de cola.....	53
7. Análisis estadístico.....	53
7.1. Estadística descriptiva.....	53

7.2. Diseño experimental	54
V. Conclusiones.....	57
VI. Recomendaciones	59
VII. Referencias bibliográficas.....	61
VIII. Anexos.....	69

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de <i>Pinus patula</i> 13
Tabla 2:	Componentes químicos de la madera Pino 14
Tabla 3:	Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 15
Tabla 4:	Componentes químicos de la madera Tornillo..... 16
Tabla 5:	Propiedades Físicos–Mecánicas de la madera de <i>Eucalyptus grandis</i> 17
Tabla 6:	Componentes químicos de la madera Eucalipto..... 18
Tabla 7:	Numero de vigas y probetas según tipo de ensayo 21
Tabla 8:	Condiciones del proceso de encolado..... 27
Tabla 9:	Número de probetas para el ensayo de esfuerzo cortante 30
Tabla 10:	Numero de probetas para el ensayo de delaminación..... 31
Tabla 11:	Tabla para la calificación de uniones encoladas: Resistencia relativa vs. Madera fallada, en porcentaje. 35
Tabla 12:	Propiedades físicas de las maderas y coeficiente de variación..... 41
Tabla 13:	Resistencia promedio al cizallamiento 43
Tabla 14:	Valores promedios de esfuerzo cortante y fallo en madera..... 45
Tabla 15:	Calificación de las uniones encoladas según combinación 47
Tabla 16:	Valores promedios de delaminación total..... 50
Tabla 17:	Variabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante y delaminación, según tratamiento..... 53
Tabla 18:	Estadística descriptiva de ensayo en resistencia al esfuerzo cortante 54
Tabla 19:	Estadística descriptiva de ensayo en la delaminación..... 54
Tabla 20:	Análisis de varianza para el ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola..... 55
Tabla 21:	Resultados del análisis de la Prueba de Friedman de los tratamientos para el ensayo de delaminación en la línea de cola. 55

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Diferentes tipos de mojado	8
Figura 2: Molécula de adhesivo entre dos sustratos.....	8
Figura 3: Pre-armado de vigas.....	22
Figura 4: Medición de humedad para cada tablilla	23
Figura 5: Maquinado de extremos	24
Figura 6: Encolado de Dientes con brocha.....	24
Figura 7: Juntadora de extremos.....	25
Figura 8: Laminas saliendo de la juntadora.....	25
Figura 9: Láminas finales con separadores.....	26
Figura 10: Cepillado de láminas	26
Figura 11: Encoladora de rodillos con ranuras	27
Figura 12: Prensado de las Láminas	28
Figura 13: Ecurrimiento del exceso de la cola, indicador de un buen encolado	28
Figura 14: Periodo de maduración o Curado.....	29
Figura 15: Despuntando los extremos.....	29
Figura 16: Vigas de eucalipto, tornillo y pino	30
Figura 17: Probetas que se deben cortar de la sección transversal completa	30
Figura 18: Probetas para ensayos de esfuerzo cortante	31
Figura 19: Probeta extraída de la sección transversal completa de la pieza de ML.....	32
Figura 20: Probetas para ensayos de delaminación.....	32
Figura 21: <i>Probeta de pino en el ensayo de esfuerzo cortante.</i>	33
Figura 22: Probetas ingresando en la autoclave.....	36
Figura 23: Probetas en el horno de secado	36
Figura 24: Promedios de resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola.....	45
Figura 25: Promedios de porcentaje de madera fallada según combinación.....	46
Figura 26: Promedios de resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola según su densidad básica.....	46
Figura 27: Fallas de uniones encoladas.....	48
Figura 28: Adherencia en el esfuerzo cortante según su densidad básica.....	48
Figura 29: Promedios de la Delaminación total en la línea de cola.....	50

Figura 30:	Promedios de la Delaminación según su contracción volumétrica.....	51
Figura 31:	Porcentaje de delaminación total por tratamiento	51
Figura 32:	Porcentaje de delaminación máxima por tratamiento	52
Figura 33:	Probetas después de 22 horas de secado a 70 °C.....	52

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Datos técnicos del adhesivo empleado.....	69
Anexo 2 Cantidades y proporciones para la mezcla.....	75
Anexo 3 Constancia de identificación de las especies estudiadas.....	76
Anexo 4 Condiciones ambientales de la UNALM.....	77
Anexo 5 Contenido de humedad de la madera en equilibrio con la temperatura y humedad relativa indicada.....	78
Anexo 6 Contenido de humedad de equilibrio en la Molina durante la fase experimental.....	79
Anexo 7 Fabricación de la MLE.....	80
Anexo 8 Valores unitarios de probetas de Pino.....	85
Anexo 9 Valores unitarios de probetas de Tornillo.....	86
Anexo 10 Valores unitarios de probetas de Eucalipto.....	87
Anexo 11 Propiedades físicas de Pino.....	88
Anexo 12 Propiedades físicas de Tornillo.....	89
Anexo 13 Propiedades físicas de Eucalipto.....	90
Anexo 14 Ensayo de cizallamiento.....	91
Anexo 15 Humedad en el ensayo de cizallamiento.....	92
Anexo 16 Humedades de las tablillas de Pino.....	93
Anexo 17 Humedades de las tablillas de Tornillo.....	94
Anexo 18 Humedades de las tablillas de Eucalipto.....	95
Anexo 19 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Pino de 90 x 115 mm.....	96
Anexo 20 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Tornillo de 90 x 115 mm.....	97
Anexo 21 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Eucalipto de 90 x 115 mm.....	98
Anexo 22 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Pino de 102 x 127 mm.....	99

Anexo 23 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Tornillo de 102 x 127 mm	101
Anexo 24 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola y porcentajes de madera fallada para Eucalipto de 102 x 127 mm	103
Anexo 25 Calificación de la uniones encoladas.....	105
Anexo 26 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación.....	106
Anexo 27 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola para Pino de 102 x 127 mm.....	107
Anexo 28 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola para Tornillo de 90 x 115 mm	108
Anexo 29 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola para Tornillo de 102 x 127 mm	109
Anexo 30 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola para Eucalipto de 90 x 115 mm	110
Anexo 31 Valores unitarios y promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola para Eucalipto de 102 x 127 mm	111
Anexo 32 Valores promedios de los ensayos de esfuerzo cortante en la línea de cola.....	112
Anexo 33 Valores promedios de los ensayos de delaminación en la línea de cola.....	113
Anexo 34 Análisis estadístico del esfuerzo cortante	114
Anexo 35 Análisis estadístico de delaminación.....	116
Anexo 36 Valores promedio de resistencia al cizallamiento y porcentaje de madera fallada .	117
Anexo 37 Valores promedio de resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola y coeficiente de variación.....	118
Anexo 38 Valores de porcentaje de delaminación.....	119
Anexo 39 Caracterización de datos.....	120
Anexo 40 Ensayo de propiedades físicas	121
Anexo 41 Ensayo de cizallamiento.....	122

I. INTRODUCCIÓN

En Europa y América del Norte la madera laminada encolada ha tenido considerable aceptación para la construcción de iglesias, gimnasios, teatros, salas de cine, garajes, fábricas y escuelas. En sitios donde se desee grandes espacios libres son muy apropiadas las construcciones de madera laminada (Rodríguez y Ramírez, 1964).

En el Perú son escasos los estudios de investigación realizados sobre este material, cuyas posibilidades de uso y aplicación son importantes, ya que puede utilizarse madera de pequeñas dimensiones para fabricar productos de grandes longitudes, pudiendo reemplazar a los elaborados con madera sólida.

En principio la calidad de la MLE reside en el comportamiento de la línea de cola, el cual depende principalmente de la resistencia del adhesivo para soportar las grandes tensiones producidas por los movimientos internos y externos que sufre la madera, los cuales son originados por su humidificación y desecación.

La calidad heterogénea de la madera, el excesivo volumen de residuos, los bajos rendimientos (madera larga, madera corta) y su limitada disponibilidad de grandes dimensiones son algunos de los problemas que presenta el bosque natural, lo que ha hecho complicado obtener escuadrías que demandan principalmente la industria de la construcción.

Actualmente, existe una demanda insatisfecha de crucetas de madera sólida que está cubierta entre otros productos por vigas de MLE importadas, cuyas secciones más comercializadas son de 90 x 115 mm y de 102 x 127 mm, utilizadas para las líneas de electrificación rural de transmisión y distribución eléctrica.

Diversos estudios realizados en las especies de Pino, Tornillo y Eucalipto corroboran la capacidad de éstas maderas como material estructural, y que en general las tres especies presentan bondades para ser utilizadas en MLE, pero esto dependerá principalmente de la compatibilidad con el adhesivo.

En la presente investigación se determinó la calidad de adhesión en vigas de dos secciones (90 x 115 mm y 102 x 127 mm), elaboradas de MLE, efectuando ensayos de esfuerzo cortante y delaminación de acuerdo a la Norma UNE-EN 14080:2013 y verificando si se cumplen los requisitos de ésta, en las especies de Pino (*Pinus patula* Schlecht et Cham), Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden), utilizando como adhesivo un copolimero a base de melamina urea formaldehído (MUF). El desarrollo de este trabajo contribuirá a brindar alternativas de uso de una especie tropical y dos de plantaciones, en un producto de valor agregado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. ASPECTOS GENERALES DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)

1.1. MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)

Según Pérez (1992) es la unión de tablillas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo, y que funciona como una sola unidad estructural.

AITIM (2011) señala que la MLE se obtiene encolando dos o más láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas, mediante uniones dentadas y piezas (tablillas) de madera aserrada con un espesor comprendido entre 6 y 45 mm.

AITIM (s.f.) menciona como ventajas de la MLE, lo siguiente:

- Poder trabajar elementos constructivos de grandes dimensiones a partir de piezas pequeñas y de dimensiones comerciales.
- Obtención de piezas con efectos decorativos y arquitectónicos, especiales en construcciones interiores de todo tipo.
- Tener la posibilidad de proyectar elementos de sección no uniforme y utilizar maderas de calidad inferior.

Según AITIM (2016), el contenido de humedad de la madera y de sus productos derivados influye en las propiedades mecánicas, de tal forma que al aumentar su contenido de humedad dichas propiedades disminuyen; además, señala que para tener en cuenta este factor en el cálculo se establecen tres clases de servicio, que son las siguientes:

a) Clase de servicio 1

Este servicio se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ y una humedad relativa del aire que no exceda el 65 %. En esta clase el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las

maderas no excede el 12%. Las estructuras bajo cubierta y cerradas, generalmente pertenecen a esta clase de servicio.

b) Clase de servicio 2

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ y una humedad relativa del aire que no exceda el 85%. En esta clase el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las maderas no excede el 20%. Las estructuras bajo cubierta, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos, suelen considerarse como pertenecientes a esta clase de servicio. La estructura de una cubierta que se encuentre ventilada y en climas húmedos puede asignarse a esta clase de servicio.

c) Clase de servicio 3

Se caracteriza por aquellas condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2. En la clase de servicio 3 se encuentran las estructuras expuestas a la intemperie, en contacto con el agua o con el suelo. Como ejemplos se mencionan las pasarelas, embarcaderos, pérgolas, etc.

1.2. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ADHESIÓN DE LA MLE

Según la Norma EN 14080:2013, la resistencia de los planos de encolado debe evaluarse mediante ensayos de esfuerzo cortante (Cizallamiento) y delaminación.

a) Ensayo de esfuerzo cortante en las líneas de cola.

Según la Norma EN 14080:2013 la resistencia al esfuerzo de las líneas de cola se da mediante la aplicación de una carga creciente que genera una tensión de cortadura en la línea de cola entre láminas de MLE o en la línea de cola entre los componentes de la madera laminada encolada hasta la rotura.

b) Ensayo de delaminación

El ensayo describe un método para medir los efectos de la intemperie sobre las líneas de encolado, los cuales son simulados en una autoclave mediante un ciclo acelerado de exposición al medio ambiente (envejecimiento), seguido inmediatamente por un ciclo de secado.

Según la Norma EN 14080:2013, este ensayo produce una rotura cohesiva dentro de la capa de adhesivo, que se origina mediante un gradiente de humedad dada en una autoclave que producirá tensiones de tracción perpendicular a los planos de encolado entre las láminas de madera laminada. Los encolados defectuosos sufrirán delaminaciones en los planos de encolado.

c) Estudios realizados sobre uniones encoladas.

Arbeláez (2013) realizó pruebas de delaminación sobre la línea de cola de MLE con la especie de Pino (*Pinus patula*), con dos tipos de colas melanina urea formaldehído (MUF) y emulsión de polímero-isocianato (EPI), cada una para su condición de servicio y utilizando la Norma BWS JAS (Japanese Agricultural Standards) 1152; encontrando que en MUF obtuvo un 90 por ciento de probetas sin delaminaciones mayores a lo especificado (80 por ciento). En el caso del EPI, 3 de 12 probetas reprobaron los estándares de delaminación, sólo un 75 por ciento de las probetas aprobaron, por lo que en este caso se reprueba el ensayo. Es así que realiza un análisis, definiendo que las probetas falladas fueron sacadas de los extremos, donde se aplica menos presión, por lo cual decide realizar otro ensayo de EPI con probetas extraídas del centro de la viga. Con dichos resultados concluye que las vigas fabricadas con la cola EPI cumplen los estándares para las condiciones de clases servicio 1 y las vigas fabricadas con MUF cumplen con los estándares para la clase de servicio 3.

Valdovino (2005), realizó ensayos de delaminación y esfuerzo cortante en madera de Pino (*Pinus Radiata*) seco y cepillado, bajo la Norma Chilena NCh 2148. El adhesivo que utilizó fue la cola acetato de polivinilo (PVA) Marca Fuller- Power Bond. En el ensayo de delaminación este investigador reportó resultados por debajo de lo requerido en la norma, por lo que concluye que este elemento no debe ser expuesto al agua ni a humedades mayores a las de equilibrio o ambiente. En cuanto a las probetas del ensayo de esfuerzo cortante de la línea de cola, obtuvo que la resistencia media al corte fue de 3,92 MPa, que es mayor a 3,40 MPa que indica la norma, por lo que se verifica que no habría inconveniente en usar cola fría como adhesivo.

Ohnesorge *et al.*, (2009), efectuaron ensayos de delaminación con madera de *Fagus sylvatica* L. las probetas producidas con listones de 29, 35 y 38 mm de espesor con adhesivo urea formaldehído (UF), tuvieron como resultados valores de 1,3 por ciento, 4,6 por ciento y 13,2 por ciento respectivamente. Además, añaden que varias muestras de espesor 35 y 38

mm excedieron los requisitos del método C que indica la Norma UNE-EN 14080:2013, ya sea para la línea de cola individual o del valor medio de la muestra. Con dichos resultados concluye que una mayor resistencia a la delaminación se puede lograr restringiendo el espesor del listón en madera laminada hasta un máximo de 30 mm y mediante el uso de un mínimo tiempo de ensamblaje cerrado de 40 min.

Jiménez *et al.*, (2006) realizaron ensayos de esfuerzo cortante en tres especies de Pino, con la Norma Europea EN UNE-EN 14080:2013 y usando como adhesivo el Cascosinol. Estos autores reportaron que el *Pinus pinea* de la Localidad de Hinojos presentó valores medios de 7,27 MPa con 51 por ciento de fallo en madera, en el *Pinus pinea* de Punta Umbría reportó valores medios de 6,52 MPa con un 59 por ciento de fallo en madera, para el *Pinus nigra* valores de 5,79 MPa con 90 por ciento de fallo en la madera y para el *Pinus pinaster* valores de 6,34 MPa con 92 por ciento de fallo en madera. Las conclusiones obtenidas en los ensayos fue que el *Pinus pinea* no cumple con los límites establecidos por la norma, mientras que el *Pinus nigra* y *Pinus pinaster* si los cumplían.

Guerra (2015), efectuó ensayos de esfuerzo cortante en la línea de cola de acuerdo a la Norma ASTM-D-905-03 (2003) utilizando el adhesivo PVA reportando que, para muestras de madera Tornillo proveniente de plantaciones en fajas, los mayores valores (7,88 MPa), se obtuvieron con una presión de 0,98 MPa y un extendido de 150 g/m². Asimismo, indica para probetas obtenidas de árboles plantados en campo abierto, los mayores valores (8,21 MPa) se obtuvieron utilizando una presión de 0,98 MPa y un extendido de 250 g/m², siendo estos valores ligeramente inferiores a los de la madera sólida.

En cuanto a la resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola en la madera de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), Parra (2009) cita a Lima *et al.*, indicó que encontraron una resistencia al esfuerzo cortante que varía desde 10,62 MPa hasta 11,72 MPa; utilizando adhesivo PVA como adhesivo. Quagliott (2008) efectuó también estudios con el *Eucalyptus grandis* utilizando probetas encoladas con el adhesivo PVA A (49 por ciento de sólidos), PVA B (44 por ciento de sólidos) y con el adhesivo Isocianato (MDI) aplicando un extendido entre 250-300 g/m²; reportando una resistencia al cizallamiento de 10,51 MPa con un 87 por ciento de falla en la madera; 9,62 MPa con un 78 por ciento de falla en la madera y de 10,11 MPa con un 85 por ciento de falla en la madera respectivamente.

Contreras *et al.*, (2003) realizaron ensayos de delaminación cíclica y esfuerzo cortante en el *Pinus caribaea* para la fabricación de elementos estructurales de madera laminada con adhesivo isocianato (MDI), acorde a las normas ASTM para madera laminada. Los resultados de los ensayos de delaminación cíclica indicaron que la madera adulta tuvo menores delaminaciones que la madera juvenil y cuando realizaron la combinación de las dos maderas, encontraron mayor proporción de delaminación. Además, en los ensayos de resistencia al cizallamiento, reportaron un valor promedio de 10,15 MPa, en donde la madera adulta arrojó valores de resistencia más altos, seguida por la madera juvenil y por último la combinación de la madera juvenil-adulta; concluyendo que el uso de estos elementos debe ser destinado solo para uso en interiores.

2. ASPECTOS BÁSICOS SOBRE LA TEORÍA DE LA ADHESIÓN.

2.1. ADHESIVO

Houwink, Citado por Flores (2006), señala que los adhesivos de madera son dispersiones de sustancias poliméricas macromoleculares que al ponerse en contacto con la superficie de madera o de la celulosa, forman enlaces entre los grupos reactivos del polímero y de la madera o celulosa.

Los adhesivos transfieren y distribuyen cargas entre los componentes, incrementando la resistencia y rigidez de los productos de madera; para lograrlo, al ser aplicado debe mojar la superficie (Figura 1), penetrar dentro de la madera y fraguar (Frihart y Hunt 2010).

Urban Brotóns (2013), agrega que para asegurar la calidad de un encolado se requiere una correcta elección del adhesivo, el conocimiento de la aptitud de la madera de las piezas que se van a unir y un adecuado desarrollo de la puesta en obra, respetando siempre las recomendaciones del fabricante del adhesivo.

AITIM (2011), afirma que el adhesivo comúnmente utilizado en la fabricación de la madera laminada desde hace varios años es la cola de Resorcina Fenol Formol (RFF), pero que actualmente existe otra opción que es la cola de Melanina Urea Formol (MUF).

Demkoff (2003), comenta que para madera laminada los adhesivos MUF tienen un mejor comportamiento a las solicitudes habituales de los elementos estructurales por su resistencia a la humedad. AITIM (s.f.) agrega que es el resultado de la reacción del formol sobre una mezcla de melamina y urea, llegando a la formación de un polímero viscoso que, a través de

una reacción posterior, une la madera mediante la penetración/ mojadura y la reacción química con la celulosa de la madera. El resultado final es un polímero que permite una junta dura y altamente reticulada, con muy buen comportamiento frente a la fluencia y a la temperatura e insoluble en agua.



Figura 1: Diferentes tipos de mojado

FUENTE: Pardo (2006)

2.2. ADHESIÓN

Pérez citado por Valdovino (2005), menciona a la adhesión como un estado en que dos superficies se mantienen juntas por medio de fuerzas interfaciales, que pueden consistir en fuerzas de valencia, por acción de interconexión, o ambas. Asimismo, Vignote y Martínez (2006) definen a la adhesión como la fuerza de unión entre el sustrato y el adhesivo, que depende del contacto intermolecular de ambos materiales y del extendido.

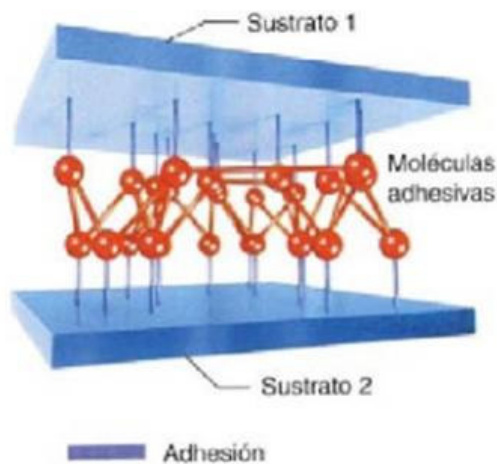


Figura 2: Molécula de adhesivo entre dos sustratos.

FUENTE: Pardo (2006)

2.3. TEORÍA DE LA ADHESIÓN

Quevedo (s.f.) menciona que algunas teorías de la adherencia acentúan aspectos mecánicos y otras ponen más énfasis en aspectos químicos; la estructura química y las interacciones determinan las características mecánicas y las características mecánicas determinan la fuerza que se concentra en vínculos químicos individuales. Asimismo, Pérez citado por Valdovino (2005), comenta sobre dos modos de acción de los adhesivos en las uniones, los cuales son:

a) Adherencia mecánica

Un criterio muy aceptado referido a la adhesividad de la cola, que dice que ésta fluye y se introduce en las cavidades de la estructura de la madera para luego solidificarse. La resistencia resultante se debería al entrelazamiento de dos sólidos fuertes como la madera y el adhesivo. El adhesivo consolida el entrelazamiento al fluir desde la superficie encolada hacia las cavidades sub superficiales de la madera, rápidamente empieza a gelatinizarse, transformándose en un semi-sólido y finalmente, la capa superficial o película, se endurece constituyendo un sólido de suficiente resistencia, que permite mantener la ligazón así constituida.

Para AITIM (1996), la adhesión mecánica depende de la forma de penetrar la cola por los poros de la madera; si la cola penetra bien se conseguirá una buena adhesión mecánica.

b) Adherencia específica

Se ha demostrado que una unión encolada entre dos superficies completamente lisas puede tener una mayor resistencia a la tracción que una película independiente de la misma cola, esto indica que existe otro tipo de adherencia, y que se debe a las fuerzas de atracción molecular, entre el adhesivo y las superficies unidas, y que es independiente a la cantidad de adhesivo que penetre en los cuerpos que se van a unir. A su vez, Vignote y Martínez (2006) mencionan que esta unión resulta de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar de la madera y los grupos activos polares de la cola.

Al respecto, AITIM (1996) menciona que la adhesión específica dependerá de las fuerzas moleculares que aparezcan entre la cola y la madera, vale decir de la tensión superficial del líquido adhesivo y de su relativa habilidad para «mojar», la superficie de la madera.

Según Valdovino (2005), esta distinción de conceptos es aceptable para poder entender el proceso de encolado, no es una distinción muy marcada puesto que la adherencia mecánica es inseparable de la adherencia específica.

3. FACTORES DE LA MADERA QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UNA UNIÓN ENCOLADA.

Quevedo (s.f.) afirma que la especie, densidad, contenido de humedad, rugosidad superficial y la química de la madera entre otros, son variables que influyen. Significativamente en la resistencia de una unión encolada.

3.1. DENSIDAD

Carmona *et al.*, (1998), señalan que la densidad es una de las propiedades más importantes de la madera, ya que presenta una estrecha relación con el comportamiento físico-mecánico de este material, existiendo una gran influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad, produciendo un aumento significativo de la resistencia mecánica de la unión encolada con incrementos en la densidad, incluso dentro de una misma especie.

Poblete (1978), afirma que las menores resistencias de una unión encolada se obtienen con madera de bajas densidades, debido a que en ellas el adhesivo es totalmente absorbido por la madera, generándose uniones pobres, ya que en estos sustratos la madera falla más fácilmente que la línea de cola, al existir una incidencia directa sobre la adhesión mecánica.

Para las maderas de alta densidad, Frihart y Hunt (2010) señalan que éstas poseen paredes celulares gruesas y diámetros de lumen más pequeños, por lo cual, los adhesivos no penetran fácilmente, limitando el anclaje mecánico. De la misma manera, se requiere de una mayor presión para lograr un buen contacto entre las superficies de madera y el adhesivo.

La densidad tiene una relación directa con la porosidad, y ambos influyen en la penetración de los adhesivos en la madera (Iwakiri 1998). En cuanto a la penetración, Blomquist (1984) señala que se ha demostrado que el ingreso de adhesivos hacia la madera incrementa la resistencia de la unión encolada y que ésta es necesaria a una escala molecular para crear una zona de transición, con propiedades mecánicas intermedias entre el adhesivo y la madera, requiriendo de dos a seis células de profundidad, dependiendo del tipo y condición del adhesivo. Además, señala que la profundidad de penetración y su regularidad puede ser importante para una unión fuerte. Si la penetración es muy irregular, la resistencia de la

unión puede reducirse y la falla puede tener lugar donde haya una menor cantidad de adhesivo o donde éste penetró en forma escasa.

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Según Pérez citado por Valdovino (2005), un contenido de humedad óptimo produce la unión encolada más resistente y que, al ser incrementado por el agua del adhesivo, se acerca lo más posible al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el elemento laminado cuando este en servicio. El incremento que se logra depende del espesor de las láminas, del tipo de adhesivo, del tipo de madera y de la cantidad de adhesivo esparcido. Es muy importante reducir al máximo cualquier alteración del contenido de humedad del elemento laminado después de fabricado, dado que las contracciones y expansiones de la madera producen tensiones en ella y en las líneas de cola, pudiendo provocar su delaminación.

Según Vick (1999), la delaminación es un indicador de cómo la junta unida resiste fuertes hinchazones y tensiones por encogimiento en presencia de alta humedad y calor. Además, Forest Product Laboratory (FPL) en 1987 agrega que el coeficiente de contracción disminuye con un aumento en el contenido de humedad y este a su vez varía con la especie; es por ello que los adhesivos que producen líneas de cola duraderas con algunas especies, bajo condiciones fluctuantes de humedad, son incapaces de reproducirlo en otra.

3.3. CALIDAD DE LA SUPERFICIE

Según Frihart y Hunt (2010), las superficies a unir deben estar libres de barnices, exudaciones, suciedades y demás residuos, los cuales intervienen en el flujo, penetración, fraguado y resistencia de la unión. Asimismo, Takahashi (1967), indica la necesidad de encolar superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades, debido a altos valores de compresión perpendicular que presentan algunas especies.

3.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA.

Blomquist *et al.*, (1984), señala que conforme exista la presencia de compuestos químicos extraños, la calidad adhesiva del pegamento resultará deficiente.

Para Heritage (1983), los extractivos pueden deteriorar la unión adhesiva cuando se presentan en cantidades excesivas, en algunas especies llegan a rangos tan altos como 10 hasta 30 por ciento, y diluyen tanto el sistema adhesivo que pueden reducir la fuerza de resistencia cohesiva en el curado de la cola. Asimismo, el bajo contenido de extractivos, si se concentran en la superficie, dificultan la unión. Algunos adhesivos funcionan con una

cantidad limitada de extractivos que se disuelven y se dispersan dentro del sistema de encolado; sin embargo, algunos extractivos no polares, como los terpenos, son menos solubles en adhesivos acuosos como los ácidos, pueden actuar como barreras e impedir la penetración y esparcido óptimo de la cola.

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES A EVALUAR

A. PINO

Familia : Pinácea

Nombre científico : *Pinus patula* schi et cham

Nombres comunes : Pino pátula, Pino chino, Pino colorado, Pino llorón

Según Vinueza (2013), el Pino es de tronco recto y cilíndrico, pueden alcanzar de 20 a 40 m de altura y de 40 a 150 cm de diámetro, posee copa cónica, corteza papirácea y escamosa, albura de color blanquecino a amarillento, el duramen de color rojizo claro, ligeramente rosado y con frecuencia no claramente definido, posee un veteado suave con líneas longitudinales oscuras, su textura es ligeramente gruesa e irregular por la presencia de bandas de maderas tempranas y blandas. Presenta grano recto, frecuentemente espiralado. Olor y sabor ausente o no distintivo y bajo brillo. Además, Marín (2011) adiciona que la madera es blanda y que recién cortada presenta olor agradable.

Yoza *et al.*, (2015) indican que la madera de Pino carece de Parénquima, posee traqueidas longitudinales de células largas y anchas que contienen puntuaciones areoladas en su interior: visibles con lupa 10x. Sin diferencia entre traqueidas de primavera y de verano. La longitud varía de 1150 a 4500 μm y su ancho de 30 a 60 μm . Las punteaduras del tipo pinoide. Los radios son uniseriados y fusiformes; estos últimos con presencia de canal resinífero cuya altura es de una a catorce células y de 141 a 471 μm . Presencia de canales resiníferos longitudinales esparcidos entre las traqueidas longitudinales y canales resiníferos radiales, incluidos dentro de los radios fusiformes.

Meneses (2011) menciona que la especie es originaria de México y su área de distribución es limitada y continua, básicamente se desarrolla entre zonas boscosas, en las faldas al este de la Sierra Madre Oriental, entre los paralelos 18 y 21 a altitudes de 1800 a 2700 msnm.

Jiménez citado por Arbeláez (2013), afirma que la especie se ha introducido en zonas que cumplen las exigencias de su hábitat, y se han obtenido resultados sorprendentes como en África, donde se obtienen hasta 500 metros cúbicos por hectárea.

Tabla 1: Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de *Pinus patula*

	PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES
Físicas	1.Densidad básica	g/cm ³	0,32
	2.Contraccion	%	-
	2.1 Contracción volumétrica		6,75
	2.2 Contracción tangencial		4,26
	2.3 Contracción radial		2,62
	2.4 Contracción longitudinal		0,22
	3.Relacion T/R	-	1,66
Mecánicas	1. Flexión	-	-
	1.1Módulo de elasticidad	(t/cm ²)	47,31
	1.2.Módulo de ruptura	(MPa)	40,08
	2. Compresión	(MPa)	-
	2.1Compresión paralela		12,81
	2.2Compresión perpendicular		3,99
	3. *Cizallamiento	(MPa)	9,17

FUENTE: Meneses (2011) en *Pinus patula* de 12 años, *Solarte y Álava (2014).

Marín (2011) comenta que la durabilidad natural de esta especie es baja; debido, a la susceptibilidad al ataque insectos xilófagos y de hongos que descomponen la madera; se seca relativamente bien, tanto al aire libre como en el secado artificial, lo que permite que sea ampliamente utilizada como madera de aserrío; cuando se seca al aire tiende a presentar ligeras torceduras. Los usos más difundidos son las chapas decorativas, tableros contrachapados, módulos a base de madera como el tablex, madera-cemento, fibra-cemento, madera laminada y densificada. Agrega que, por ser de fácil preservación por los métodos de inmersión, baño caliente-frío y vacío presión, por lo cual permite utilizarla como tablilla para pisos, postes de transmisión de energía y telefónicos. Además, en forma rolliza es muy empleada para la construcción de viviendas.

Tabla 2: Componentes químicos de la madera Pino

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Celulosa	36,64
Lignina	28,53
Hemicelulosa	24,97
Cenizas	0,28
Extraíbles	1,50

FUENTE: Gómez et al; 2013.

B. TORNILLO

Familia : Fabaceae

Nombre científico : *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

Nombres comunes : “Tornillo”, “Pino peruano” (Reynel et al, 2003), “achapo”, “cedro rana” (Colombia); “seique”, “chuncho” (Ecuador); “huayra caspi”, “aguano”, “cedro mayna” (Perú); “cedro rana”, “parica”, “lacaica”, “yacayaca” (Brasil) (CATIE 1997).

Sinónimos botánicos : *Piptadenia cateniformis*, *Pithecellobium cateniformis*.

Según López (1970), la especie se caracteriza por ser un árbol dominante y forma parte del dosel más alto del bosque, de tronco recto y buena forma, usualmente presenta grandes dimensiones. La altura varía entre 25 a 40 m., dependiendo de la calidad de sitio en donde se desarrolle. La altura comercial está comprendida entre 15 a 25 m. El diámetro a la altura del pecho varía entre 0,60- 1,2 m. Presenta raíces tablares.

Aróstegui (1982), señala que la madera de tornillo es de excelente calidad; el duramen recién cortado es rosado claro y la albura blanco amarillenta; cuando seca, el duramen es de color claro castaño pálido, marcado con líneas de color oscuro que destacan sobre el fondo más claro; de grano recto entrecruzado y de textura gruesa.

Acevedo y Kikata (1994), afirman que la madera Tornillo es de porosidad difusa. Los poros son visibles a simple vista, de forma redonda y solitarios; múltiples radiales escasos de 2-4; con 1 a 5 poros/mm². El parénquima es visible con lupa 10x, de tipo paratraqueal vasicéntrico. Los radios homogéneos y uniseriados, con presencia de inclusiones gomosas, con una altura entre 240 y 350 μm. Del mismo modo, mencionan que sus vasos tienen un diámetro tangencial que varía entre 293 a 333 μm y la longitud entre 412 y 430 μm. Poseen

platina de perforación horizontal con perforación simple. Punteado intervacular alterno con punteaduras redondas y abertura incluida. Presencia de inclusiones gomosas. Las fibras son libriformes no estratificadas. Tiene un diámetro total es 24 μm , pared celular de 3 μm de grosor y la longitud varía entre 1443 y 1454 μm .

Reynel *et al.* (2003), afirman que la especie se distribuye en la región amazónica, en altitudes de hasta 1200 msnm. Presente en áreas de pluviosidad elevada y constante; de naturaleza esciofita, en bosques primarios de suelos arcillosos y ácidos, en zonas con buen drenaje y pedregosidad baja o nula.

Flores *et al.*, (2004) mencionan que en plantaciones experimentales en el bosque nacional Alexander von Humboldt, los resultados obtenidos a 20 años de edad muestran el gran potencial de tornillo.

Tabla 3: Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de *Cedrelinga cateniformis*

	PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES
Físicas	1.Densidad básica	g/cm^3	0,45
	2.Contraccion	%	-
	2.1 Contracción volumétrica		10,65
	2.2 Contracción tangencial		6,90
	2.3 Contracción radial		3,17
	2.4 Contracción longitudinal		-
	3.Relacion T/R	-	2,20
Mecánicas	1. Flexión	-	-
	1.1Módulo de elasticidad	(t/cm^2)	108,00
	1.2.Módulo de ruptura	(MPa)	56,49
	2. Compresión	(MPa)	-
	2.1Compresión paralela		27,75
	2.2Compresión perpendicular		5,59
	3. Dureza de lados	(MPa)	38,05
	4.Cizallamiento	(MPa)	8,73

FUENTE: Aróstegui (1982).

Para Aróstegui (1974) la especie posee un duramen muy poco susceptible al ataque de hongos e insectos, por contener ciertas sustancias repelentes, Reynel, *et al* (2003), agregan que la madera es de excelente calidad y gran durabilidad. En cuanto al secado el mismo autor comenta que dicha especie presenta un buen comportamiento al secado al aire libre, no sufre alabeos ni rajaduras si se apilan las maderas correctamente.

Aróstegui (1982) indica que esta especie presenta un buen comportamiento a diferentes operaciones de cepillado, torneado y taladrado, puede trabajarse con toda clase de herramientas de mano, fácil aserrío y regular al moldurado.

En cuanto a sus usos, Aróstegui y Sato (1970) señalan que madera es recomendada para ser usada en estructuras, carpintería de obra general, construcciones navales (maderámen) y costillas, carrocerías, mueblería, ebanistería, vigas, puntales y juguetería.

Tabla 4: Componentes químicos de la madera Tornillo

<i>COMPONENTE</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
Celulosa	54,07
Lignina	29,73
Pentosas	11,60
Cenizas	0,95
Sílice	0,49

FUENTE: Bueno (1978)

C. EUCALIPTO

Familia : Myrtaceae

Nombre científico : *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Nombres comunes : “Eucalipto”, “Eucalipto rosado”

Sinónimos botánicos : *Eucalyptus saligna* var. *pallidivalvis* Baker et A.C. Sm (Ospina 2006)

Tesón (2011) comenta que la especie puede llegar alcanzar una altura entre los 43 y 55 m con un diámetro de 122 a 183 cm. Posee un fuste de forma cilíndrica recto y alto, de hasta dos tercios de la altura total. La corteza es delgada y se desprende en fajas, lo que deja ver una superficie lisa marcada con patrones ondulados, de color blanco-plateado, gris pizarra, terracota o verde claro. En ocasiones persiste un forro cortical gris claro, en forma de planchas o con fisuras sobre los primeros 1-2 m de la base del tronco.

Kimmich (2009), describe a la especie con albura de color blanco-crema, el duramen de color castaño-rosado, textura mediana, grano derecho entrelazado, brillo medio, un suave vetado, peso mediano y blando.

Sánchez Acosta (2012) y Toval (s.f), afirman que la madera Eucalipto es de porosidad difusa y dispuesta en diagonal. Los poros son solitarios. El parénquima es visible con lupa 10x, de tipo axial paratraqueal vasicéntrico unilateral. Los radios homogéneos y uniseriados de 4 a 12 de radios/mm lineal, con una altura entre 130 y 360 μm . Así mismo, mencionan que el número de vasos/ mm^2 varía entre 5-20. El diámetro tangencial varía entre 100 a 200 μm . Posee punteado intervascular areolado alterno circular ornado. Las fibras tienen un diámetro total de 22 μm y diámetro de lumen de 17 μm , pared celular de 2,8 μm de grosor y la longitud promedio de 1020 μm .

El *Eucalyptus grandis* es una de las principales especies forestales de los estados australianos de Queensland y New South Wales, en donde se distribuye naturalmente a un rango altitudinal desde 0 hasta 900 m, con precipitación media anual entre 1.000 y 1.780 mm, una estación seca de tres meses en promedio y temperatura máxima de 35°C y mínima de 5°C. Crecimiento acelerado de esta especie, productividad y adaptabilidad, ha permitido su introducción en diferentes zonas como bosque seco tropical (bs-T), bosque húmedo tropical (bh-T), bosque húmedo pre-montano (bm-PM), bosque muy húmedo pre-montano (bmh-PM) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (Conif citado por Ospina, 2006).

Tabla 5: Propiedades Físicos–Mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis*

	PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES
Físicas	1.Densidad básica	g/cm^3	0,57
	2.Contraccion	%	-
	2.1 Contracción volumétrica		16,90
	2.2 Contracción tangencial		10,70
	2.3 Contracción radial		5,30
	2.4 Contracción longitudinal		0,28
	3.Relacion T/R	-	2,10
Mecánicas	1. Flexión	-	-
	1.1 Módulo de elasticidad	(t/cm^2)	105,28
	1.2. Módulo de ruptura	(MPa)	81,20
	2. Compresión	(MPa)	-
	2.1 Compresión paralela		41,80
	2.2 Compresión perpendicular		8,70
	3. *Cizallamiento	(MPa)	8,90

FUENTE: Sánchez et al., (2005), *E. grandis* de 17-20 años y *CONAFOR (2008).

Ospina (2006) indica que el Pino posee durabilidad natural baja a muy baja, de fácil trabajabilidad e impregnación y difícil de secar, ya que en el proceso de secado tiende a rajarse. El mismo autor afirma que la madera aserrada es utilizada para construcciones pesadas, como techos, durmientes (preservados), en la elaboración de pisos. Presenta buen torneado lo que hace que sea apta para la elaboración de muebles de estanterías y ebanistería fina, uno de sus usos más difundidos es para la elaboración de Embalajes; cajas para frutas, mangos de herramientas y palos de escoba, hoy en día también se utiliza para la elaboración de tableros de fibra, tableros de partículas, celulosa y papel.

Tabla 6: Componentes químicos de la madera Eucalipto

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Celulosa	45,7
Lignina	28,1
Hemicelulosa	23,5
Cenizas	0,2
Azucres	2

FUENTE: Sánchez Acosta (2012)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se dividió en dos partes: la fabricación de las vigas se realizó en la Empresa de Postes Wise S.A.C. ubicada en el distrito de Chaclacayo- Lima, y los ensayos físicos y mecánicos se efectuaron en el Laboratorio de tecnología de la Madera, Laboratorio de Paneles y Laboratorio de Preservación de la Madera, pertenecientes al Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

2. MATERIAL EXPERIMENTAL

La Empresa Postes Wise S.A.C proporcionó madera de tres especies: Pino (*Pinus patula* Schlecht et Cham), Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke); las dos primeras procedentes de plantaciones en Cajamarca y Junín respectivamente, la tercera procedente de un bosque natural del departamento de Ucayali.

3. ADHESIVO.

El adhesivo usado fue la melanina urea formaldehído (MUF), cuya información técnica se detalla en el Anexo 1.

4. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Prensa Universal "Tinius Olsen" y accesorios de cizallamiento.
- Autoclave a escala, modelo IE 0.31/1 1P
- Balanza analítica Ohaus de 0,0001 g.
- Estufa eléctrico de 220 °C.
- Higrómetro de Pinnes.
- Vernier digital 0,01m

- Prensa Hidráulica de 6 pistones.
- Cuchillas Finger Joint
- Juntadora de testas.
- Sierra circular.
- Despuntadora
- Cepilladora
- Encoladora de rodillos.
- Garlopa
- Wincha
- Regla yEscuadra.
- Lupa de IOx.
- Brocha
- Lápiz de cera y crayola.

5. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

5.1. VERIFICACIÓN DE LA ESPECIE

La verificación de la especie se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la madera del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM (Anexo 3).

5.2. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MOLINA.

Se calculó el contenido de humedad de equilibrio en base a las condiciones ambientales registradas por la estación meteorológica Von Humboldt y la tabla de contenidos de humedad de la madera en equilibrio, con la temperatura y humedad relativa obtenidas y que se presentan en el Anexo 4.

5.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.

Se determinó el contenido de humedad a través del método gravimétrico, según Norma Técnica Peruana NTP 251.010 (2014), la densidad básica de la madera, según Norma Técnica Peruana NTP 251.011 (2015) y su variación dimensional, según Norma Técnica Peruana NTP 251.012 (2015) (Anexos 11,12 y 13).

5.4. DETERMINACIÓN DEL CIZALLAMIENTO DE LA MADERA SÓLIDA.

El ensayo de Cizallamiento se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, en base a la Norma Técnica Peruana 251.013 (2015) (Anexo 14).

6. FABRICACIÓN DE LAS VIGAS

En la Tabla 7 se muestra el número de probetas para los ensayos según la norma UNE 14080 (2013). Se fabricaron 20 vigas por cada especie, repartidas en dos secciones (de las cuales se extrajo una probeta de la parte central de cada viga) y el proceso se realizó de acuerdo a lo indicado en la bibliografía consultada y en la ficha técnica del adhesivo utilizado.

Tabla 7: Numero de vigas y probetas según tipo de ensayo

ESPECIE		ESFUERZO CORTANTE		DELAMINACIÓN	
		VIGAS	PROBETAS	VIGAS	PROBETAS
Pino	90 x 115 mm	10	10	10	10
	102 x 127 mm	10	20	10	10
Tornillo	90 x 115 mm	10	10	10	10
	102 x 127 mm	10	20	10	10
Eucalipto	90 x 115 mm	10	10	10	10
	102 x 127 mm	10	20	10	10

FUENTE: Elaboración propia

6.1. PROCESO DE FABRICACIÓN.

El proceso de fabricación se efectuó según lo indicado en el Anexo 7.

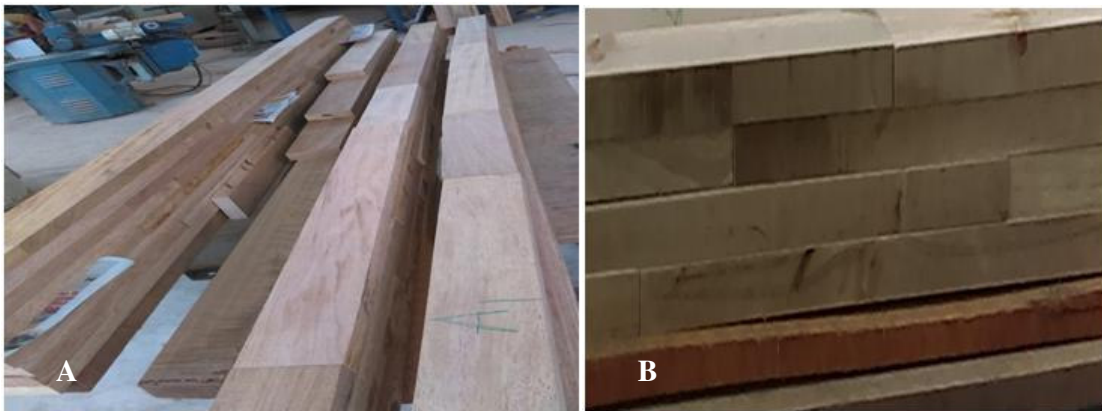
A. SELECCIÓN DE LA MADERA

Se utilizó madera seca al horno (8 a 15%) y las normas de clasificación visual NTP 251.104:1988 para madera aserrada de latifoliadas (Tornillo y Eucalipto) y la norma de clasificación visual UNE 56544:2011 para la madera aserrada de coníferas (Pino).

B. ESPECIFICACIONES DE FABRICACIÓN

Las dimensiones finales de las vigas laminadas fabricadas fueron de 90 x 115 x 1500 mm y 102 x 127 x 1500 mm, utilizando tablillas de 29 y 33 mm de espesor respectivamente; por lo que se utilizaron como mínimo cuatro láminas de altura. Las longitudes de las láminas fueron no menores a 40 cm y dependieron del saneamiento de las piezas iniciales.

Los nudos de dimensiones inferiores a 2 cm de diámetro no se tuvieron en cuenta si no estaban podridos, para nudos sanos de dimensiones superiores la distancia mínima entre nudo y el punto de saneado y entre nudo y la base del finger-joint será al menos $3d$, siendo d el diámetro del nudo. En el pre-armado se verificó que los puntos de uniones donde se ubicaron los dientes de finger-joint entre láminas no se encuentren alineados o estén distanciados al menos 10 cm; de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN14080:2013.



(A) Tablillas y (B) Distanciamiento entre uniones.

Figura 3: Pre-armado de vigas

FUENTE: Elaboración propia

Asimismo, se midió con un higrómetro de pines la humedad de cada una de las láminas. La humedad de ellas debe estar comprendida entre 8 y 15 por ciento (especificaciones del fabricante de cola); no se permitieron variaciones de humedad superiores al tres por ciento entre dos láminas contiguas y superior al cinco por ciento para el conjunto de la viga. (ANEXOS 12,13 y 14)



Figura 4: Medición de humedad para cada tablilla

FUENTE: Elaboración propia

Las láminas saneadas, con defectos y humedades dentro de las tolerancias permitidas, fueron codificadas para mantener el orden al pasar al siguiente proceso.

C. EMPALMES DE EXTREMOS

La longitud de los dientes para efectuar el finger joint fue de 15 mm, según lo recomendado en el ítem I.4.2 de la norma EN UNE-EN 14080:2013; esta operación se realizó de forma perpendicular a la cara de la tablilla. Una vez pre-armadas se procedió a preparar el adhesivo, para el encolado de los empalmes finger joint se utilizó una brocha y luego fueron sometidas a un prensado mediante una juntadora de testas por un tiempo de 10 segundos para la obtención de listones.



Figura 5: Maquinado de extremos

FUENTE: Elaboración propia



Figura 6: Encolado de Dientes con brocha

FUENTE: Elaboración propia



Figura 7: Juntadora de extremos

FUENTE: Elaboración propia



Figura 8: Laminas saliendo de la juntadora

FUENTE: Elaboración propia



Figura 9: Láminas finales con separadores

FUENTE: Elaboración propia

D. ENCOLADO DE LÁMINAS

Se cepilló la superficie de cada listón para mejorar las condiciones de encolado, ya que su calidad de adhesión disminuye con el tiempo al aire de las piezas, debido principalmente a la oxidación de los grupos hidroxilo de la celulosa.



Figura 10: Cepillado de láminas

FUENTE: Elaboración propia

Se preparó el adhesivo (Anexo 2) en recipientes de plástico y se aplicó de manera uniforme sobre una de las superficies de la lámina, las condiciones dadas de operación se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Condiciones del proceso de encolado

	VARIABLE	UNIDADES	PROMEDIO
AMBIENTAL	Temperatura ambiental	°C	22
	Humedad relativa	%	75
ENCOLADO	Tiempo de exposición (abierto)	Minutos	5
	Tiempo de ensamble (cerrado)	Minutos	25
	Tiempo bajo presión	Horas	4
	Extendido de cola	g/m ²	350
	Presión de prensado	MPa	0,7
	Tipo de aplicación	Simple	1 cara
	Tiempo de curado	Horas	24

FUENTE: akzonobel (2017)



Figura 11: Encoladora de rodillos con ranuras

FUENTE: Elaboración propia

E. PRENSADO

Se colocaron las láminas apiladas, con un espesor equivalente a la altura de la viga laminada más un sobredimensionamiento, en la prensa hidráulica a una presión específica constante de 0,7 MPa por un tiempo de cuatro horas, luego del cual se almacenó por un tiempo adicional de 24 horas para que la pieza fragüe completamente y llegue a su resistencia total.



Figura 12: Prensado de las Láminas

FUENTE: Elaboración propia



Figura 13: Escurrimiento del exceso de la cola, indicador de un buen encolado

FUENTE: Elaboración propia



Figura 14: Periodo de maduración o Curado

FUENTE: Elaboración propia

F. DIMENSIONAMIENTO FINAL

Se recortaron los extremos de las vigas para darles las dimensiones finales, luego se procedió a cepillarlas y cortarlas por la mitad.



Figura 15: Despuntando los extremos

FUENTE: Elaboración propia



Figura 16: Vigas de eucalipto, tornillo y pino

FUENTE: Elaboración propia

7. PREPARACIÓN DE PROBETAS.

Una vez fabricadas las vigas indicadas en la Tabla 7, se prepararon las probetas para los ensayos de cizallamiento en la línea de cola y de delaminación, siguiendo el procedimiento señalado en la Norma UNE-EN 14080 (2013). Las Tablas 9 y 10 indican el número de probetas según su ancho para los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante y delaminación.

Tabla 9: Número de probetas para el ensayo de esfuerzo cortante

ANCHO TOTAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm)	$b \leq 100$	$100 < b \leq 160$	$b > 160$
NUMERO DE PROBETAS	1	2	3

FUENTE: UNE-EN 14080

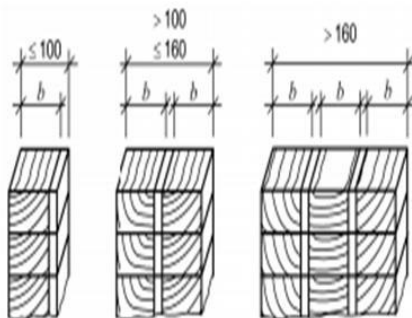


Figura 17: Probetas que se deben cortar de la sección transversal completa

FUENTE: UNE-EN 14080

De acuerdo a la norma EN UNE-EN 14080:2013, para las vigas de 90 mm de ancho se extrajo una probeta y para la de 102 mm dos probetas. La dimensión final de las probetas para este ensayo fue de 45 x 115 x 45 mm y 45 x 127 x 45 mm.



Figura 18: Probetas para ensayos de esfuerzo cortante

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Numero de probetas para el ensayo de delaminación

ANCHO TOTAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm)	$b \leq 300$	$b > 300$
NUMERO DE PROBETAS	1	2 Ó más

FUENTE: UNE-EN 14080

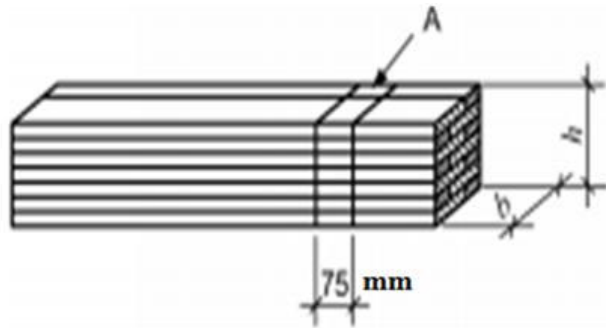


Figura 19: Probeta extraída de la sección transversal completa de la pieza de ML

Donde:

A Probeta

b Ancho (mm)

h Altura (mm)

De acuerdo a la norma EN UNE-EN 14080:2013, de cada viga de sección de 90 mm y 102 mm se extrajeron una probeta de la sección transversal completa con una longitud de 75 ± 5 mm a favor de la fibra. Las dimensiones finales de las probetas para el ensayo de delaminación fueron de 90 x 115 x 75 mm y 102 x 127 x 75 mm.



(A) Total de probetas y (B) Probeta de tornillo.

Figura 20: Probetas para ensayos de delaminación

FUENTE: Elaboración propia

8. ENSAYOS DE ESFUERZO CORTANTE

Los ensayos se realizaron de acuerdo a la Norma EN 14080(2013), empleando la prensa universal “Tinius Olsen” de 60 mil libras de capacidad de carga. Este ensayo determinó la resistencia al cizallamiento en la línea de cola y el porcentaje de falla de madera en el área de corte. Se aplicó la carga a una velocidad constante (0,6 mm/min), de forma que la rotura se produzca como mínimo luego de transcurridos 20 s de carga. Se evaluaron 30 líneas de cola para cada combinación, acorde a la Norma EN 14080 (2013).



Figura 21: *Probeta de pino en el ensayo de esfuerzo cortante.*

FUENTE: Elaboración propia

9. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA LÍNEA DE COLA.

Para cada probeta se determinó la resistencia al esfuerzo cortante utilizando la siguiente relación:

$$f_v = K_v \frac{F_u}{A}$$

Dónde:

f_v Resistencia al esfuerzo cortante (en N/mm²);

F_u Carga de rotura (en N);

A Área de cortante (en mm²);

$A = b t$ para una probeta prismática;

b Anchura (en mm);

K_v Factor de corrección $K_v = 0,78 + 0,0044 t$; adimensional. Afecta cuando el grosor de la sección de rotura en la dirección de la fibra (t) es inferior a 50 mm;

t Grosor (en mm).

10. ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

Para la estimación del área fallada en cada probeta ensayada se utilizó el programa de autocad 2018 y para determinar el porcentaje de madera fallada se aplicó la siguiente relación:

$$\text{Porcentaje de madera fallada} = \frac{\text{Superficie de madera fallada}}{\text{Superficie encolada}} \times 100$$

11. CALIFICACIÓN DE LA UNIÓN ENCOLADA

Esta calificación se efectuó según la clasificación mostrada en la Tabla 11, donde se combina la resistencia relativa (relación de la resistencia de la unión encolada entre la resistencia al cizallamiento de la madera sólida, expresada en porcentaje) (Anexo 14) y el porcentaje de madera fallada.

Tabla 11: Tabla para la calificación de uniones encoladas: Resistencia relativa vs. Madera fallada, en porcentaje.

MADERA FALLADA (%)	RESISTENCIA RELATIVA (%)				
	EXCELENTE (91-100)	MUY BUENA (81- 90)	BUENA (71- 80)	REGULAR (61-70)	MALA (≤ 60)
Excelente (81-100)	Excelente	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena
Muy Buena (61-80)	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena	Buena
Buena(41-60)	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Regular
Regular (21-40)	Muy buena	Muy buena	Regular	Regular	Mala
Mala (≤ 20)	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Mala

FUENTE: Adaptado en base a López (1976)

12. ENSAYO DE DELAMINACIÓN

Para estos ensayos se utilizó el ciclo de ensayo A para la clase de servicio 3, de acuerdo a la norma UNE EN 14080 (2013). Se introdujeron las probetas a una autoclave con agua a una temperatura entre 10 °C y 20 °C de manera que las piezas queden completamente sumergidas. Se separaron las probetas exponiendo las superficies a evaluar (extremos). Se realizó un vacío entre 70 KPa y 85 KPa (presión absoluta de entre 15 KPa y 30 KPa medida a nivel del mar) y se mantuvo durante 5 minutos. A continuación, se suprimió el vacío y se aplicó una presión comprendida entre 500 KPa y 600 KPa (presión absoluta entre 600 KPa y 700 KPa) durante una hora, permaneciendo las probetas completamente sumergidas; se repitió el ciclo de vacío/presión, efectuando en total dos ciclos, que requieren un tiempo de 130 minutos, para luego ser secadas las probetas en la cámara de secado durante un periodo comprendido entre 21 y 22 horas.

Las probetas provenientes de uniones de láminas fueron representativas de la producción, por ello se extrajo una probeta de la parte central de cada viga, para así obtener seguridad sobre la calidad real del encolado. Se tomaron 10 probetas por cada combinación, según la

Norma EN 14080:2013. Antes de someter las probetas a los ciclos de ensayos se midió la longitud total de los planos de encolado, en milímetros, sobre las superficies (extremos) de evaluación de las probetas. La medición de la delaminación de las probetas se realizó inmediatamente finalizada la aplicación del ciclo de secado.



Figura 22: Probetas ingresando en la autoclave

FUENTE: Elaboración propia



Figura 23: Probetas en el horno de secado

FUENTE: Elaboración propia

13. DETERMINACIÓN DE LA DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA

A. DELAMINACIÓN TOTAL

El porcentaje de delaminación total de una probeta se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Delam}_{\text{tot}} = \frac{l_{\text{tot,delam}}}{l_{\text{tot,plano encolado}}} \quad (\text{en } \%)$$

Dónde:

$l_{\text{tot,delam}}$ es la longitud total de delaminación (en mm);

$l_{\text{tot,plano encolado}}$ es la longitud total de planos de encolado en las dos superficies de testa de cada probeta (en mm).

B. DELAMINACIÓN MÁXIMA

El porcentaje de delaminación máxima para una sola línea de cola en una probeta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Delam}_{\text{max}} = 100 \frac{l_{\text{max,delam}}}{2.l_{\text{plano encolado}}} \quad (\text{en } \%)$$

Dónde:

$l_{\text{max, delam}}$ es la longitud máxima de delaminación (en mm);

$l_{\text{plano encolado}}$ es la longitud de una línea de cola (en mm).

14. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Estadística descriptiva: Para caracterizar la forma de la distribución de los datos del esfuerzo cortante y delaminación, se utilizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling. Asimismo, para evaluar la representatividad de la media y la concentración de datos se utilizaron los coeficientes de asimetría (Skewness) y Kurtosis, respectivamente.

Diseño Experimental: Para el ensayo de esfuerzo cortante se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con estructura factorial de 3A x 2B con 10 repeticiones por tratamiento, y la prueba de Tukey para la comparación de medias. Para el ensayo de delaminación se utilizó un diseño no paramétrico (prueba de Friedman). El programa utilizado para estos análisis fue InfoStat.

Unidad experimental: Probetas de madera laminada encolada.

Nivel de significancia: 95% de confianza con un $\alpha=0,05$.

Variables independientes:

- Factor A: Especies de madera
- P: Pino (*Pinus patula schi et cham*)
- T: Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke)
- E: Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden)
- Factor B: Secciones
- S1: 90 x 115 mm
- S2: 102 x 127 mm

Variables dependientes:

- Ensayo de Resistencia a cortante

Bloques:

- B1 : P-S1

- B2 : P-S2
- B3 : T-S1
- B4 : T-S2
- B5 : E-S1
- B6 : E-S2

-Ensayo de Delaminación

Tratamientos:

- T1 : P-S1
- T2 : P-S2
- T3 : T-S1
- T4 : T-S2
- T5 : E-S1
- T6 : E-S2

De acuerdo al diseño utilizado para el ensayo de esfuerzo cortante se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho: No existe interacción entre los factores de Especie y Sección.
- H1: Existe interacción entre los factores de Especie y Sección.

De acuerdo al diseño utilizado para el ensayo de delaminación se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho: Todos los tratamientos son iguales.
- H1: Al menos un tratamiento es distinto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.

En la Tabla 12 se muestran los resultados de las propiedades físicas de las maderas utilizadas en la presente investigación.

Tabla 12: Propiedades físicas de las maderas y coeficiente de variación

<i>PROPIEDADES</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>PROMEDIO</i>		
		<i>PINO</i>	<i>TORNILLO</i>	<i>EUCALIPTO</i>
<i>Densidad Básica</i>		0,38 (11,4%)	0,47 (9,3%)	0,53 (8%)
<i>Contenido de Humedad</i>	%	14,47 (8,4%)	14,80 (11,5%)	14,20 (9,5%)
<i>Contracción Volumétrica</i>	%	7,59 (11,1%)	10,08 (10,3%)	12,07 (10,4%)
<i>Contracción Tangencial</i>	%	5,58 (10,8)	6,76 (9,5%)	8,31 (11,7%)
<i>Contracción Radial</i>	%	3,29 (12,6%)	3,05 (10,9%)	4,37 (9,8%)
<i>Contracción Longitudinal</i>	%	0,27 (9,5%)	0,28 (9,5%)	0,22 (9,5%)
<i>Relación T/R</i>	-	1,6 (10,5%)	2,2 (8,5%)	1,9 (10,5%)

Entre paréntesis: coeficiente de variación

El contenido de humedad promedio presentado por las maderas de pino, tornillo y eucalipto (14,5 por ciento, 14,8 por ciento y 14,2 por ciento respectivamente); fueron inferiores al contenido de equilibrio higroscópico registrado para el periodo de la fase experimental, que fue de 16,4 por ciento (Anexo 6).

La madera de Pino presentó valores promedios de densidad básica (0,38 g/cm³) y contracción volumétrica (7,59 por ciento) superiores a los reportados por Meneses (2011) (0,33 g/cm³ - 6,80 por ciento) (Tabla 1), mientras que para el valor de la relación T/R (1,6) resultó un valor similar (1,6) (Anexo 11).

Con respecto a la madera de Tornillo, se reportaron valores promedios de contracción volumétrica (10,08 por ciento) y relación T/R (2,2), similares a los obtenidos por Aróstegui (1982) (10,70 por ciento - 2,2) (Tabla 3), mientras que la densidad básica ($0,47 \text{ g/cm}^3$) muestra un valor ligeramente superior ($0,45 \text{ g/cm}^3$) (Anexo 12). Esto se puede deber a que los factores medioambientales, mencionados por Salazar y Pérez (1998), como la localización geográfica y el clima no fueron muy variables.

La madera de Eucalipto muestra valores promedios de densidad básica ($0,53 \text{ g/cm}^3$) contracción volumétrica (12,07 por ciento) y relación T/R (1,9) inferiores a los reportados por Kimmich (2009) ($0,57 \text{ g/cm}^3$ - 16,90 por ciento - 2,1) (Tabla 5) (Anexo 13).

Los diferentes valores registrados en las especies de pino y eucalipto comparados con la bibliografía consultada, según Salazar y Pérez (1998), pueden estar relacionados a distintos factores como la localización geográfica, condiciones de crecimiento, de clima y de sitio, además de la edad.

2. RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO

En la Tabla 13 se muestran los valores promedios de la resistencia al cizallamiento de la madera sólida de las tres especies estudiadas (Anexo 14).

Las probetas de Pino presentaron valores promedios de cizallamiento de 9,43 MPa, que son levemente superiores a los reportados por Solarte y Álava (2014) (Tabla 1) (9,17 MPa). Las probetas de Tornillo presentaron valores promedios de cizallamiento de 15,00 MPa, que son superiores a los reportados por Aróstegui (1982) (Tabla 3) (8,73 MPa). Asimismo, las probetas de Eucalipto presentaron valores promedios de cizallamiento de 12,02 MPa, que son superiores a los reportados por Conafor (2008) (Tabla 5) (8,90 MPa). Estos valores superiores se pueden deber a las diferentes procedencias del material estudiado, puesto que dos especies son de plantaciones y una de bosque natural.

Tabla 13: Resistencia promedio al cizallamiento

ESPECIES	CIZALLAMIENTO PROMEDIO (MPa)
PINO	9,43 (13,33%)
TORNILLO	15,00 (9,14%)
EUCALIPTO	12,02 (7,26%)

Entre paréntesis: coeficiente de variación

3. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA LÍNEA DE COLA

En la Tabla 14 y en las Figuras 24 y 25 se muestran los valores promedios de la resistencia al esfuerzo cortante y de porcentaje de madera fallada por especie-sección.

Las probetas de madera de *Pino patula* de 90 x 115 mm de sección, presentaron una resistencia al esfuerzo de corte promedio de 8,19 MPa y 83,87 por ciento de fallo en madera; similares valores fueron obtenidos con las de 102 x 127 mm, encontrando una resistencia de 8,41 MPa y 84,07 por ciento de fallo en madera. Se debe señalar que el promedio de resistencia al esfuerzo cortante para ambas secciones representa el 89,31 y 91,71 por ciento de la resistencia al esfuerzo de corte en madera sólida reportada por Solarte y Álava (2014) (Tabla 1); asimismo, los resultados de los ensayos de cizallamiento de la madera sólida efectuados en este estudio representaron el 86,85 y 89,18 por ciento, respectivamente (Tabla 13).

Al comparar los valores de resistencia obtenidos con estudios similares en maderas de Pino, se observa que los promedios de las dos secciones se encuentran por encima del valor registrado por Valdovino (2005), que fue de 3,92 MPa, usando adhesivo PVA y del mayor valor registrado por Jiménez *et al* (2006) que fue de 7,27 MPa, usando como cola el cascocinol.

La madera encolada de Tornillo de 90 x 115 mm de sección, presenta una resistencia al corte de 9,94 MPa y 88,93 por ciento de fallo en madera; similares valores fueron encontrados con las secciones de 102 x 127 mm, con 10,17 MPa de resistencia al corte y 87,58 por ciento de fallo en madera. Se resalta que el promedio de resistencia al esfuerzo cortante para las dos secciones representa el 113,86 y 116,50 por ciento de la resistencia al esfuerzo cortante en madera sólida reportada por Aróstegui (1982) (Tabla 3); además, para

el ensayo de cizallamiento de la madera sólida presentado en este estudio representó el 66,27 y 67,80 por ciento, respectivamente (Tabla 13).

Al comparar la resistencia promedio con estudios similares en maderas de tornillo, se encontró que los promedios de resistencia de las dos secciones se encuentran por encima de los valores registrados por Guerra (2015) de madera proveniente de plantaciones en fajas, que fue de 7,88 MPa y en campo abierto de 8,21 MPa, usando como adhesivo el PVA.

En la madera laminada de eucalipto de 90 x 115 mm, se obtuvo una resistencia al corte de 11,16 MPa y 87,33 por ciento de fallo en madera; similares valores fueron hallados con la sección de 102 x 127 mm, siendo estos 11,41 MPa de resistencia y 86,13 por ciento de fallo en madera; además, el promedio de resistencia al esfuerzo cortante para las dos secciones representa el 125,39 y 128,20 por ciento de la resistencia al esfuerzo cortante en madera sólida reportada por CONAFOR (2008) (Tabla 5). También se encontró que, al compararlos con los valores de cizallamiento de la madera sólida presentado en este estudio, representó el 92,85 y 94,93 por ciento, respectivamente (Tabla 13).

Al comparar los valores de la resistencia con estudios similares en maderas de *Eucalyptus grandis*, se aprecia que los promedios de resistencia de las dos secciones se encuentran entre los valores citados por Parra (2009), que fueron de 10,62 y 11,72 MPa usando adhesivo PVA; sin embargo, fueron superiores a los reportados por Quagliott (2008), quien utilizó adhesivo PVA y obtuvo valores de 9,60 y 10,50 MPa.

Al contrastar los valores de las tres especies, se observó que el mayor valor obtenido fue con el Eucalipto seguido del Tornillo y el Pino; esto permite corroborar lo que afirma López (1976), que la resistencia de la unión encolada depende de las propiedades físico-mecánicas de las maderas a unir, siendo la densidad la más importante.

En la Figura 26 se muestran los valores promedios de cada especie y su relación con sus densidades básicas, y se aprecia, en ambas secciones, un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante al aumentar la densidad básica de las especies. Al respecto, Carmona *et al.*, (1998) afirman que existe una gran influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad, existiendo un aumento significativo de la resistencia mecánica de la unión encolada con los incrementos en la densidad.

Las especies Pino, Tornillo y Eucalipto de ambas secciones cumplen con los límites de resistencia al esfuerzo de corte y de madera fallada establecidos por la Norma UNE-EN 14080: 2013, la cual indica un mínimo de 6,00 MPa y de 20 por ciento para el caso del eucalipto y tornillo, así como de 36 por ciento para el pino.

Tabla 14: Valores promedios de esfuerzo cortante y fallo en madera

<i>ESPECIE</i>	<i>SECCIÓN (mm)</i>	<i>ESFUERZO CORTANTE (MPa)</i>	<i>MADERA FALLADA (%)</i>
<i>Pino</i>	<i>90 x 115</i>	8,19	83,87
	<i>102 x 127</i>	8,41	84,07
<i>Tornillo</i>	<i>90 x 115</i>	9,94	88,93
	<i>102 x 127</i>	10,17	87,58
<i>Eucalipto</i>	<i>90 x 115</i>	11,16	87,33
	<i>102 x 127</i>	11,41	86,13

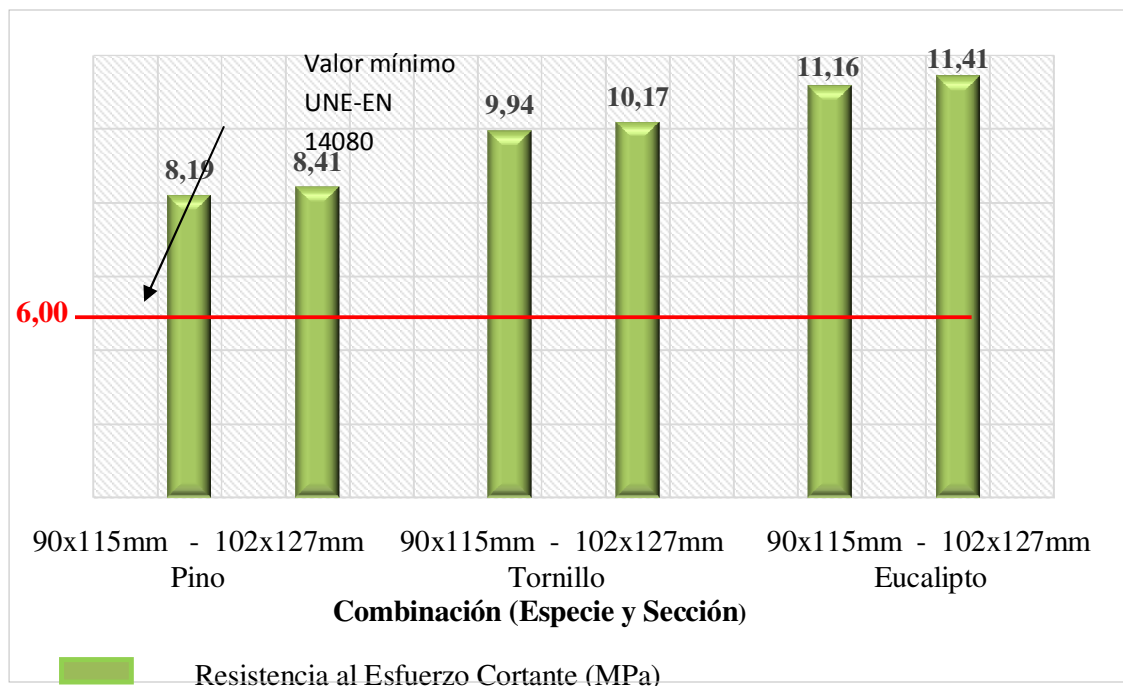


Figura 24: Promedios de resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola

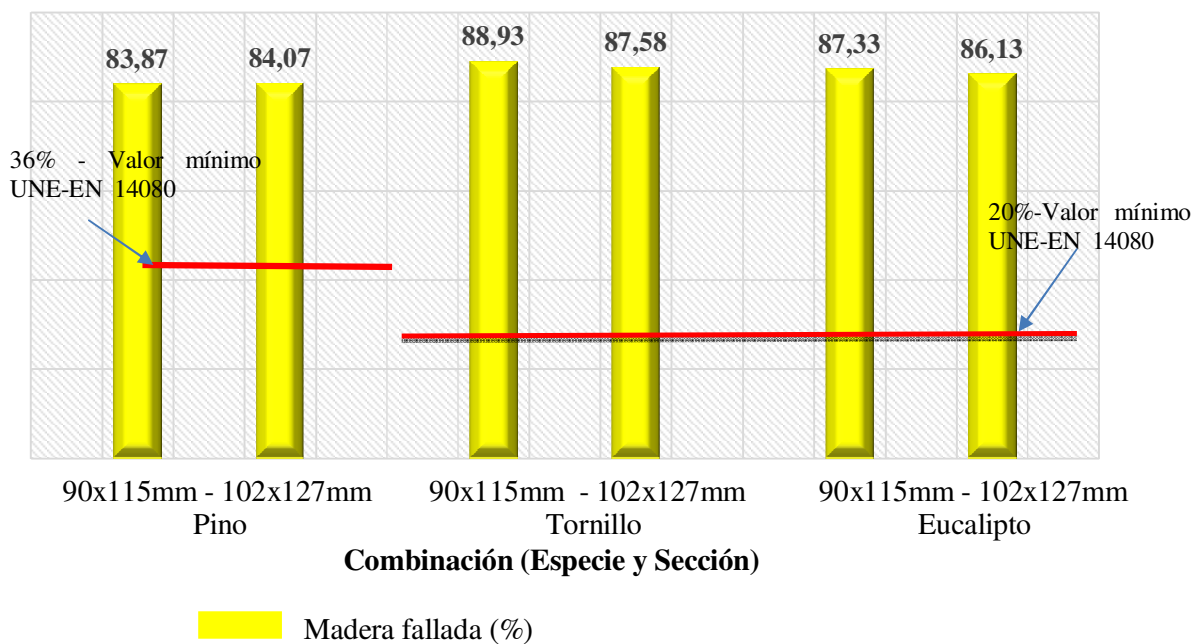


Figura 25: Promedios de porcentaje de madera fallada según combinación

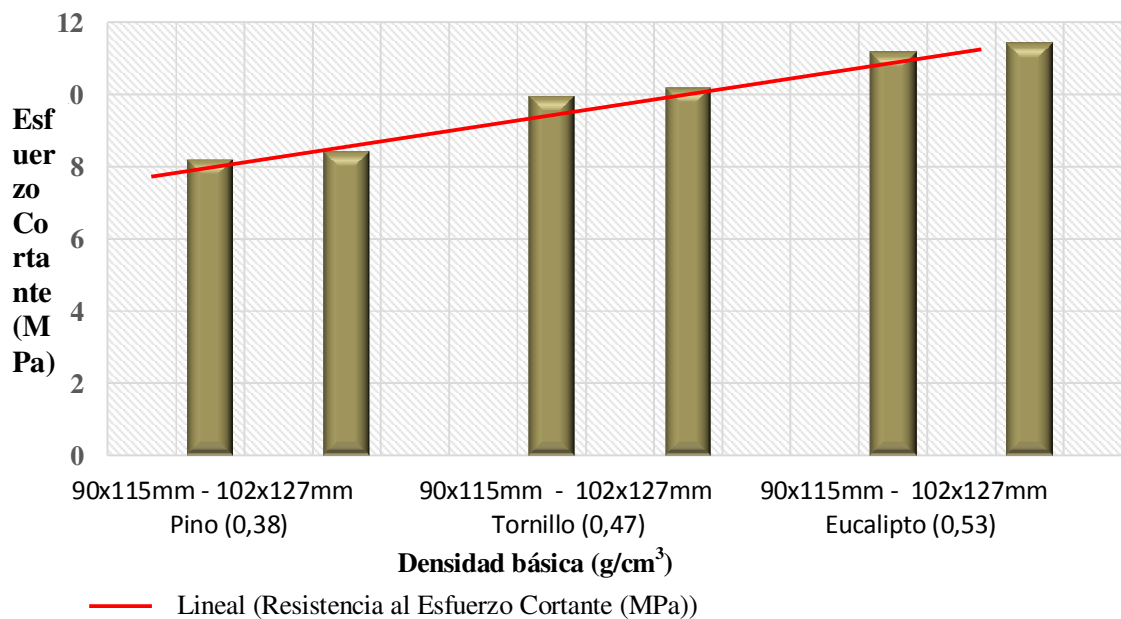


Figura 26: Promedios de resistencia al esfuerzo cortante de la línea de cola según su densidad básica

4. CALIFICACIÓN DE LA UNIÓN ENCOLADA

En la Tabla 15 se muestra la calificación de las uniones encoladas según la combinación en bloques, en la cual se aprecia que la variabilidad para las seis combinaciones es baja, donde califican de muy buenas a excelentes.

Tabla 15: Calificación de las uniones encoladas según combinación

BLOQUES <i>Especie- Sección (mm)</i>	CALIFICACIÓN
Pino de 90x115	Excelente
Pino de 102x127	Excelente
Tornillo de 90x 115	Muy buena
Tornillo de 102x127	Muy buena
Eucalipto de 90x115	Excelente
Eucalipto de 102x127	Excelente

La Figura 27 muestra las superficies de las probetas después del ensayo de esfuerzo cortante y se observa que el mayor fallo se dio en la madera. En cuanto a la adherencia, en la Figura 28 se observa que no existe una clara diferencia en base a la densidad de las especies estudiadas, pero todos los valores promedio fueron superiores al 80 por ciento, considerándose como un valor satisfactorio, ya que se obtuvo una línea de cola con una resistencia superior a la resistencia de la madera, con estos resultados se infiere que se produjo una eficiente unión encolada.

Esto se puede deber a que el proceso de fabricar madera laminada encolada requiere un cepillado previo al encolado, haciendo estas superficies lisas sin irregularidades y contribuyendo para el mejor prensado de las uniones, tal como lo afirma Takahashi (1967), quien indica la necesidad de encolar superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades, debido a altos valores de compresión perpendicular que presentan algunas especies.

Cabe señalar que los resultados obtenidos con el adhesivo MUF son similares a los reportados por Carmona *et al.*, (1998), donde utilizaron como adhesivo el Resorcinol y encontraron valores de 61,50 - 78,75 por ciento y en PVA valores de 70,70- 85,75 por ciento (Anexo 36), y a los registrados por Jiménez *et al* (2006) en las especies de *Pinus pinaster*, con 92 por ciento, y *Pinus nigra* con 90 por ciento, utilizando el adhesivo Cascosinol.



(A) Probetas despues del ensayo y (B) Falla en probeta de pino.

Figura 27: Fallas de uniones encoladas

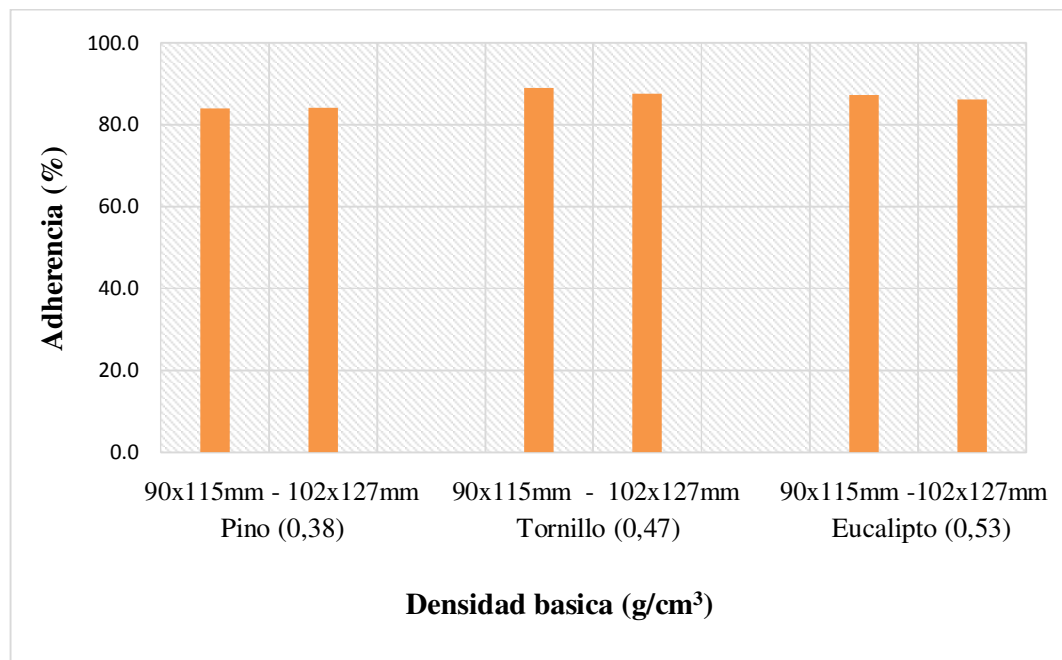


Figura 28: Adherencia en el esfuerzo cortante según su densidad básica.

5. DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA

En la Tabla 16 y la Figura 29 se muestran los valores promedios de delaminación total para las especies y dimensiones evaluadas.

La madera de Pino registra valores promedios de delaminación de 1,8 por ciento y 1,7 por ciento para las secciones de 90 x 115 mm y 102 x 127 mm respectivamente; para la madera Tornillo los valores registrados fueron de 0,96 por ciento y 1,49 por ciento para las secciones de 90 x 115 mm y 102 x 127 mm respectivamente y finalmente la madera Eucalipto obtuvo valores de 4,59 por ciento y 4,02 por ciento para las secciones de 90 x 115 mm y 102 x 127 mm respectivamente. Los valores del Pino, Tornillo y Eucalipto son muy similares a los reportados por Calil Neto (2011) (Anexo 38), en las especies de Pino (*Pinus oocarpa*), Teca (*Tectonis grandis*) y Lyptus (*Shizolobium amazonicum*) respectivamente. Además, estos valores promedios de delaminación se encuentran dentro de los rangos registrados por Ohnesorge *et al.*, (2009) en madera de *Fagus sylvatica* L, que fueron de 1.3 a 4,6 por ciento para láminas de espesores similares, utilizando como adhesivo la MUF.

La especie que presentó mayor resistencia a la delaminación fue el tornillo, seguido por el pino y por último el eucalipto; estas diferencias podrían ser ocasionadas por los defectos naturales de madera de pino y eucalipto (nudos) y por sobre todo por el tipo de madera, ya que ésta influye directamente sobre la resistencia de las líneas de cola por las grandes tensiones internas que se producen, lo que origina mayor inestabilidad dimensional superando los esfuerzos propios de la cola. En la Figura 30 se observa que la delaminación no presenta una clara tendencia con relación a la contracción volumétrica; sin embargo, el eucalipto quien posee una mayor contracción, reportó una marcada diferencia de delaminación en comparación a las otras especies ensayadas. Al respecto, Contreras *et al.*, (2003) realizaron ensayos en madera adulta y juvenil en pino caribe y reportan que uno de los factores que pueden generar una alta tasa de delaminación, son las contracciones que se producen en la madera al ser humedecidas y secadas alternativamente. Asimismo, Forest Product Laboratory (FPL) (1987) agrega que el coeficiente de contracción por unidad disminuye con un aumento en el contenido de humedad y éste, a su vez, varía con la especie.

En la Figura 31 se indica el porcentaje de delaminación total producida en los diferentes tratamientos por cada sección, y se observa que el 100 por ciento de las probetas de Tornillo de ambas secciones cumplen con los límites establecidos en la Norma EN 14080:2013

(Método A); por el contrario, el total de las probetas de las especies de Pino y Eucalipto de ambas secciones no cumplen con los límites establecidos.

La Figura 32 presenta el porcentaje de delaminación máxima para los diferentes tratamientos, en donde se aprecia que las probetas de eucalipto de ambas dimensiones tienen las mayores grietas en una línea de cola; sin embargo, todos los tratamientos cumplen los límites establecidos por la Norma EN 14080:2013. La Figura 33 muestra las líneas de cola de las probetas una vez terminado el ensayo.

Tabla 16: Valores promedios de delaminación total

<i>ESPECIE</i>	<i>SECCIÓN (mm)</i>	<i>DELAMINACIÓN TOTAL PROM. (%)</i>
<i>Pino</i>	<i>90 x 115</i>	1,80
	<i>102 x 127</i>	1,70
<i>Tornillo</i>	<i>90 x 115</i>	0,96
	<i>102 x 127</i>	1,49
<i>Eucalipto</i>	<i>90 x 115</i>	4,59
	<i>102 x 127</i>	4,02

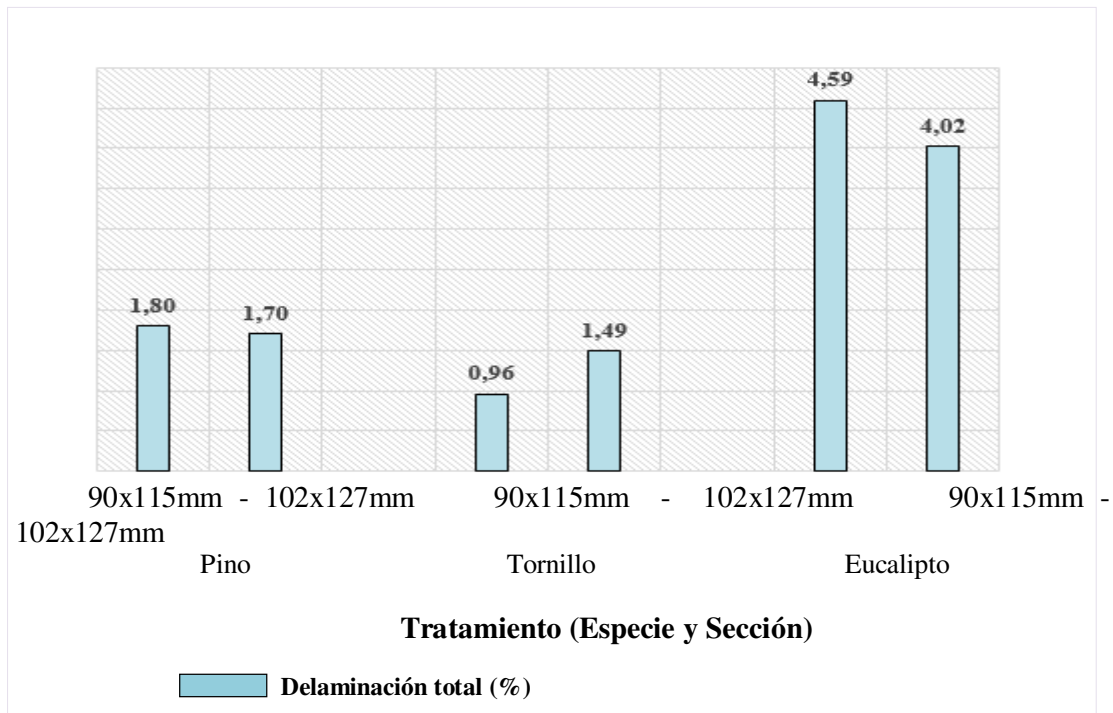


Figura 29: Promedios de la Delaminación total en la línea de cola

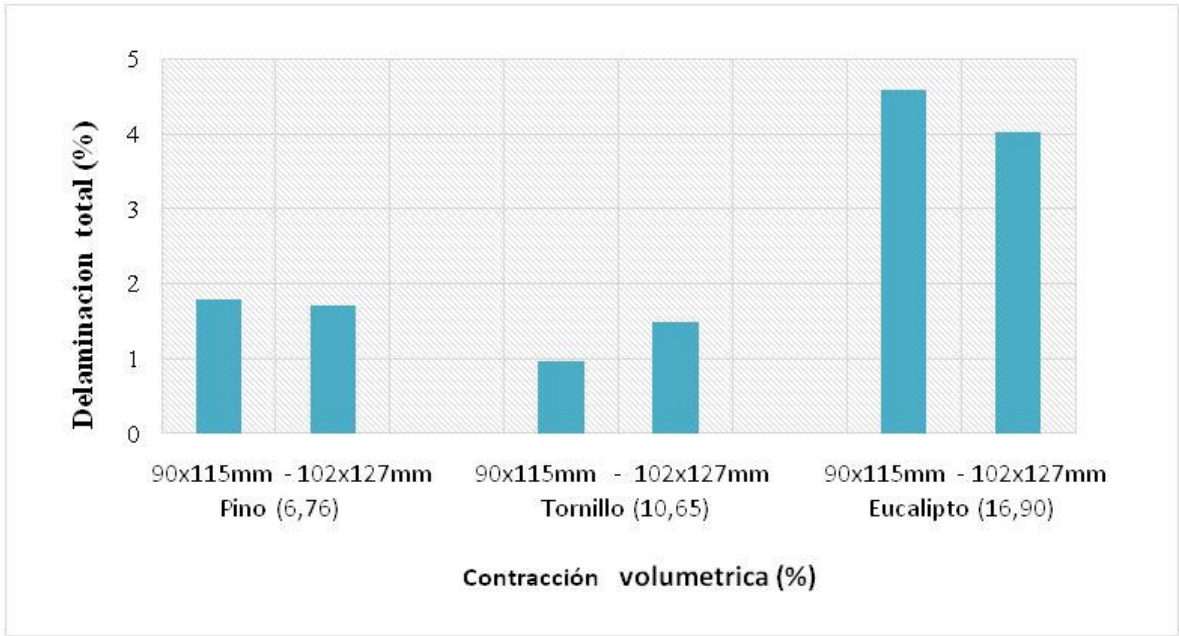


Figura 30: Promedios de la Delaminación según su contracción volumétrica

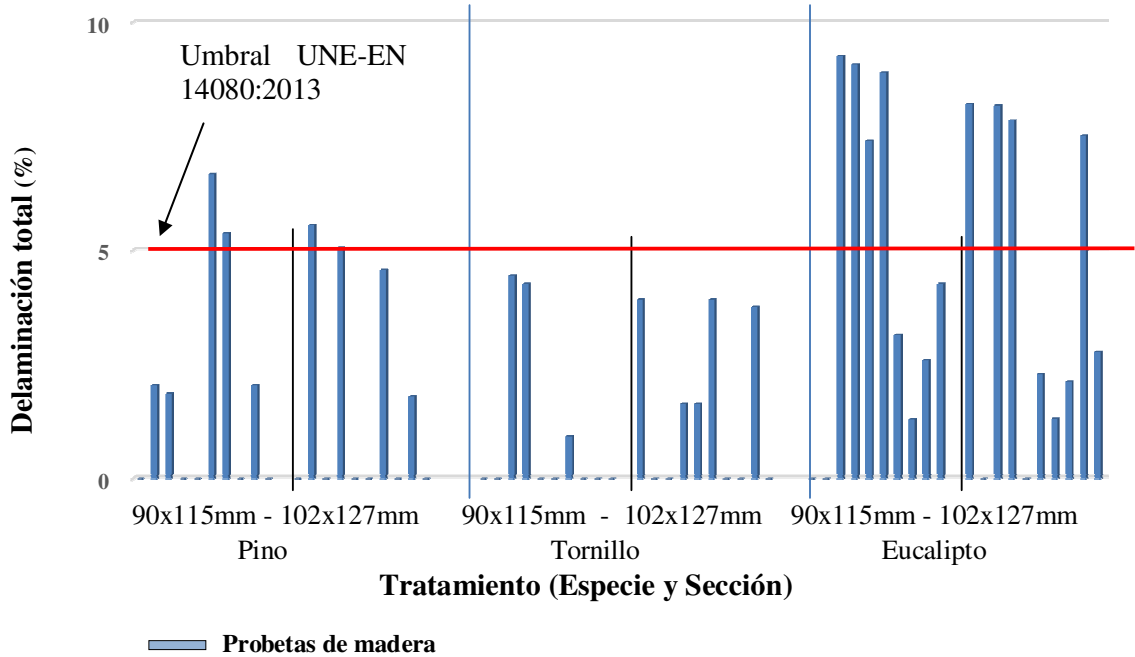


Figura 31: Porcentaje de delaminación total por tratamiento

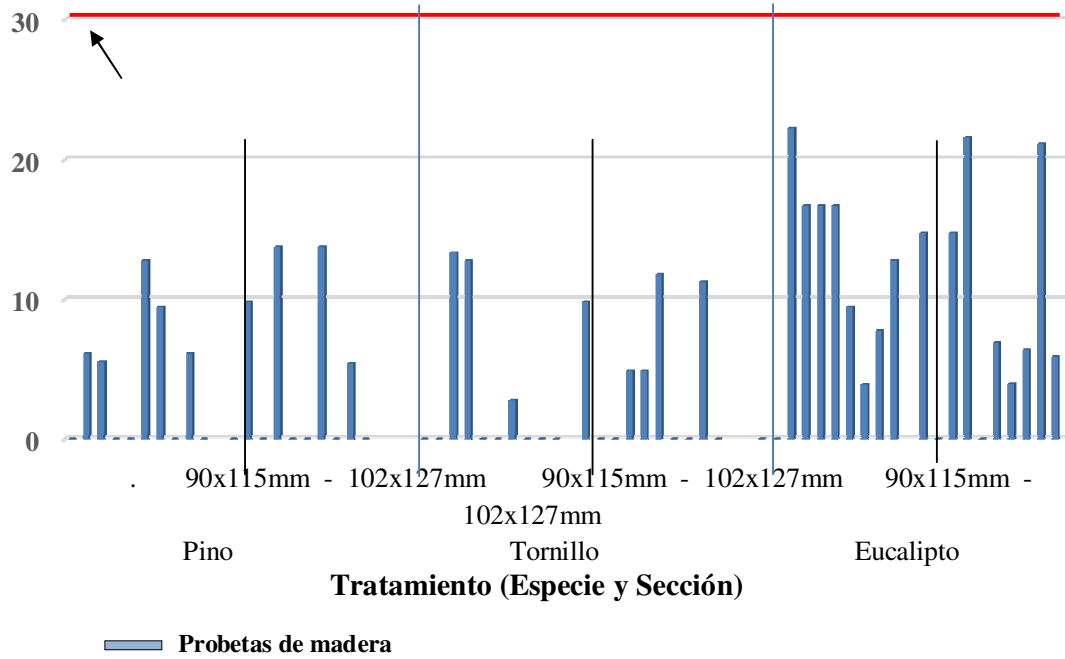
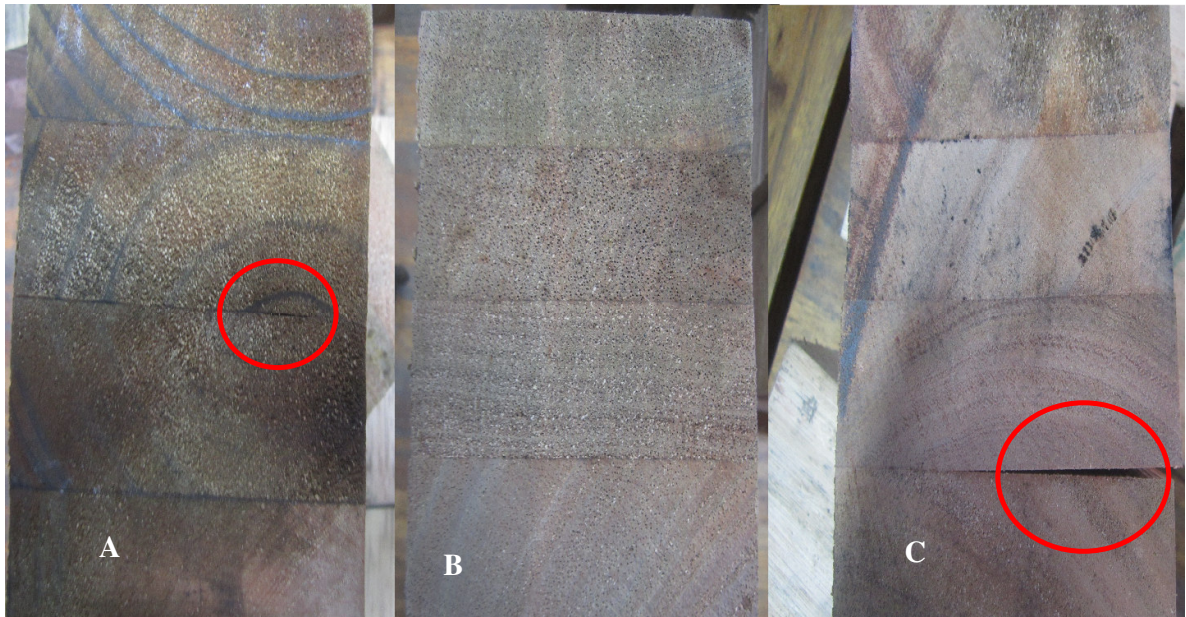


Figura 32: Porcentaje de delaminación máxima por tratamiento



(A) Pino, (B) Tornillo y (C) Eucalipto.

Figura 33: Probetas después de 22 horas de secado a 70 °C.

6. VARIABILIDAD DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE Y DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA.

La Tabla 17 muestra la variabilidad en el esfuerzo cortante y en las probetas que sufrieron delaminación. Según la escala propuesta por Rubio (1996) (Anexo 39), los resultados en el ensayo de esfuerzo cortante para Pino muestran un grado de variabilidad de datos “muy homogéneos” en ambas secciones, el Tornillo muestra “regularmente homogéneos” en ambas secciones y el Eucalipto presenta “regularmente homogéneos” para la sección de 90mm x 115 mm y “variables” para la sección de 102 mm x 127 mm, coincidiendo con los resultados obtenidos por Carmona *et al.*, (1998) y Almeida *et al.*, (2014) (Anexo 37). Al respecto, Contreras *et al.*, (2003) realizaron ensayos de cizallamiento en uniones encoladas de madera adulta y juvenil de pino caribe, donde encontraron que la mayor delaminación se dio en la combinación de ambas maderas, seguido por la juvenil y la adulta respectivamente.

Tabla 17: Variabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante y delaminación, según tratamiento.

PARÁMETRO ESTADÍSTICO	ESPECIE	PINO		TORNILLO		EUCALIPTO	
	SECCIÓN (mm)	90x115	102x127	90x115	102x127	90x115	102x127
Coefficiente de variación en el esfuerzo cortante (%)		6,19	6,83	13,41	10,53	12,13	19,16
Coefficiente de variación en la delaminación (%)		0,63	0,10	0,62	0,41	0,57	0,62

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En la Tabla 18 se presentan los resultados de la estadística descriptiva de los ensayos en resistencia al esfuerzo cortante, donde el coeficiente de asimetría indica que la media es representativa de la muestra solo en el tratamiento de pino de 102 x 127 mm. Para el caso del coeficiente de Kurtosis, los datos de pino y eucalipto de 90 x 115 mm, así como del tornillo de 102 x 127 mm, se encuentran concentrados. Finalmente, la prueba de Anderson-Darling señala que para todos los tratamientos, los datos tienen una distribución normal.

Tabla 18: Estadística descriptiva de ensayo en resistencia al esfuerzo cortante

INDICADOR ESTADISTICO	ESPECIE	PINO		TORNILLO		EUCALIPTO	
	SECCIÓN (mm)	90x115	102x127	90x115	102x127	90x115	102x127
Coeficiente de asimetría		-0,76	0,23	0,65	-1,20	1,20	-0,61
Coeficiente de kurtosis		1,23	-1,94	-0,19	2,30	0,77	-0,85
Prueba de Anderson-Darling (P-value)		0,26	0,63	0,31	0,41	0,66	0,39

De acuerdo a lo observado en la Tabla 19, para el ensayo de delaminación, el coeficiente de asimetría señala que la media solo es representativa para el tratamiento de eucalipto de ambas secciones. Para el caso del coeficiente de Kurtosis los datos de pino y tornillo de 90 x 115 mm, se encuentran concentrados. Finalmente, la prueba de Anderson-Darling señala que solo el eucalipto de 90 x 115 mm tendría una distribución normal. Por estos resultados se aplicó un diseño no paramétrico para la culminación de este ensayo.

Tabla 19: Estadística descriptiva de ensayo en la delaminación

INDICADOR ESTADISTICO	ESPECIE	PINO		TORNILLO		EUCALIPTO	
	SECCIÓN (mm)	90x115	102x127	90x115	102x127	90x115	102x127
Coeficiente de asimetría		1,30	0,91	1,68	0,62	0,14	0,26
Coeficiente de kurtosis		0,63	-1,25	1,18	-1,61	-1,83	-2,02
Prueba de Anderson-Darling (P-value)		1,04	1,37	2,06	1,06	0,48	0,76

7.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 20 se muestra el análisis de varianza de la resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola. Este análisis comprueba que la variancia en la variable especie es significativa, por lo tanto, hay suficiente evidencia para afirmar que alguna de las especies ensayas proporcionan diferentes resistencias al esfuerzo cortante en la línea de cola.

Según Carmona *et al.*, (1998), existe una gran influencia de la densidad de la madera en el encolado, existiendo un aumento significativo de la resistencia mecánica de la unión encolada con incrementos en la densidad, incluso dentro de una misma especie. Esto explica los resultados obtenidos en las comparaciones de la prueba de tukey (ver Anexo 34), donde la mejor especie fue el eucalipto, seguidos por el tornillo y el pino, siendo las tres especies significativamente diferentes entre sí.

Por otro lado, se observa que no existen diferencias significativas entre las secciones estudiadas, por lo cual se puede trabajar indistintamente con cualquier nivel de sección, obteniendo similares resistencias al esfuerzo cortante en la línea de cola.

En cuanto a la interacción, no existe efecto combinado de la especie y la sección sobre la resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola. De esta manera se concluye que para obtener mejores resistencias al esfuerzo cortante solo se debe tratarse con especies.

Tabla 20: Análisis de varianza para el ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la línea de cola.

<i>FUENTE DE VARIABILIDAD</i>	<i>SIGNIFICANCIA ($\alpha = 0,05$)</i>
Especie	Significativo
Sección	No Significativo
Interacción especie-sección	No Significativo

En la Tabla 21 se muestra el análisis de la prueba de Friedman para los tratamientos en el ensayo de delaminación en la línea de cola. Este análisis comprueba que hay suficiente evidencia para afirmar que alguno de los tratamientos ensayados proporciona diferentes delaminaciones en la línea de cola.

De esta manera, el mejor tratamiento fue reportado para el Tornillo - 90 x 115 mm de sección (T-S1) y no se diferencia a los de Tornillo - 102 x 127mm (T-S2); Pino - 90 x 115 mm (P-S1) y Pino - 102 x 127 mm (P-S2); finalmente, el peor tratamiento fue dado por el tratamiento Eucalipto - 90 x 115 mm (E-S1) (ver Anexo 35). Se presume que estos resultados son causados por las tensiones internas que sufren las maderas, ya que, según Vick (1999), la delaminación es un indicador de cómo la junta unida resiste fuertes hinchazones y tensiones por encogimiento en presencia de alta humedad y calor. Respecto a las diferencias significativas entre los tratamientos de Tornillo y Eucalipto, FPL (1987) afirma que el coeficiente de contracción por unidad disminuye con un aumento en el contenido de humedad y éste a su vez varía con la especie.

Tabla 21: Resultados del análisis de la Prueba de Friedman de los tratamientos para el ensayo de delaminación en la línea de cola.

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>SIGNIFICANCIA($\alpha = 0,05$)</i>
T-S1	Significativo
P-S2	No Significativo
T-S2	No Significativo
P-S1	No Significativo
E-S2	No Significativo
E-S1	Significativo

V. CONCLUSIONES

- 1) Las especies Pino (*Pinus patula* Schlecht et Cham), Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden), cumplen con los requisitos señalados en la norma UNE-EN 14080 para el ensayo de esfuerzo cortante.
- 2) La especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke), presentó resultados de los ensayos de delaminación acordes a lo indicado en la norma UNE-EN 14080.
- 3) Los resultados encontrados en los ensayos de esfuerzo cortante fueron significativos para los valores entre especies, mientras que en los resultados de delaminación fueron significativos para los tratamientos con Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) de 90 x 115 mm de sección.
- 4) Las vigas laminadas fabricadas con madera de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D. Ducke), de dos secciones y encoladas con adhesivo MUF; cumplen con los requisitos señalados en la norma UNE-EN 14080, por lo que demostraron su viabilidad de uso para la fabricación de Madera Laminada Encolada para la clase de servicio 3.

VI. RECOMENDACIONES

- Complementar este estudio con ensayos de flexión a escala real para conocer las características mecánicas de las vigas y compararlas con vigas de madera maciza.
- Efectuar ensayos de delaminación para las especies de Pino (*Pinus patula* Schlecht et Cham) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden), modificando las variables de fabricación del producto, para no descartar su uso en la madera laminada encola (MLE).
- Es necesario continuar con los estudios de madera laminada encolada (MLE) con especies de bosques naturales y de plantaciones con diferentes adhesivos, y así poder darle mayor valor agregado, buscando la rentabilidad del producto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE, UNALM– Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
- AITIM (Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera).1996. Nuevas tendencias en los adhesivos empleados en tableros. AITIM W 179:82 p.
- _____. 2011. Madera Laminada Encolada. s. l. (en línea). 7 p. Consultado el 10 mar. 2017. Disponible en: http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_126_Madera%20Laminada%20Encolada_18.07.2011.pdf
- _____. 2016. Clases de servicio y clases de uso: parecidos y diferencias. Consultado el 10 mar. 2018. Disponible en: <http://aitiminforma.blogspot.pe/2016/08/clases-de-servicio-y-clases-de-uso.html>
- _____. s. f. Adhesivos para estructuras de madera laminada. s. l. (en línea). 2 p. Consultado el 20 abril. 2017. Disponible en: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2670_13937.pdf?PHPSESSI
- _____. s. f. Tecnología General. Editorial AITIM-flora, 1-Madrid. Cap. 24, serie C: Tecnología De La Madera Laminada.
- AkzoNobel. 2009. Información de producto, Sistema MUF 1242/2542 para vigas laminadas. Medellín. 8p.
- _____. 2009. Información de producto, catalizador CAT CFM 40 para vigas laminadas. Medellín. 2 p.
- _____. 2017a. Información de producto, polímero 103 para vigas laminadas. Medellín. 2 p.
- _____. 2017b. Información de producto, polímero 230 para vigas laminadas. Medellín. 2 p.

- Almeida, D; Cavalheiro, R; Macêdo, L; Calil Neto, C; Christoforo, A; Calil Junior C; Rocco Lahr, F. A. 2014. Evaluation of Quality in the Adhesion of Glued Laminated Timber (Glulam) of Paricá and Lyptus Wood Species. *International Journal of Materials Engineering* 2014, 4(3): 114-118.
- Arbeláez J. D. 2013. Ficha técnica de vigas de madera a flexión. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Antioquia. Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia. (En línea). 79p. Consultado 1 feb. 2017. Disponible en: <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/311/1/CIVI0422.pdf>
- Aróstegui, A y Sato, A. 1970. Estudio de las propiedades físico mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. *Revista Forestal Peruana*. 4 (1-2):13-24.
- Aróstegui, A. 1974. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. *Estudio tecnológico de maderas del Perú*. v. 1. p. 100-101.
- _____. 1982. *Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas*. Lima, PE, PNUD- FAO. 57p. (Documento de trabajo no.2).
- Blomquist, RF; Christiansen, AW; Gillespie, RH. 1984. Adhesives bonding of wood and other structural materials. (Clark C. Heritage memorial series on Wood, v.3). Pennsylvania, US, Educational modules for material science and engineering. 436 p.
- Bueno, J. 1978. Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel. Lima, PE, UNALM-Ministerio de Industria, Comercio, Turismo e Integración. 223p.
- Calil Neto, C. (2011). *Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo*. Dissertação de Mestrado. Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos. 123 p.
- Carmona, R; Espinoza, F; Bull, G. 1998. Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de *Pinus radiata* D.DON. *Revista Ciencias Forestales*. 63 p. Consultado el 11 enero 2018. Disponible en: http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a6.pdf

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. Cedrela odorata. Costa Rica, Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR). Nota técnica sobre manejo de semillas forestales No. 24. 2 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2008. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Zapopan, Jalisco-México. 62 p.
- Contreras, W; Barrios, E; Owen, M; Encinas, O. 2003. Evaluación de la calidad de las líneas de cola de isocianato en vigas laminadas de pino caribe (var. hondurensis) preservado con sales CCA. Revista Forestal Venezolana. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 47(2):15 – 22.
- Demkoff, M. 2003. Vigas Laminadas Estructurales de Madera, su Fabricación y Empleo. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. (En línea). 6p. Consultado el 12 enero 2017. Disponible en: http://www.agroindustria.gob.ar/new/0-0/forestacion/_archivos/_biblioteca/190%20V%20DEMCOFF%20def.pdf
- Donoso, G. 2016. Producción de vigas de madera laminada encolada de alta capacidad resistente mediante la utilización de madera aserrada de pino radiata clasificada mecánicamente. Tesis ing. Civil. Santiago, CH, Universidad de Chile. 23 p.
- Gómez, E; Ríos, L; Peña, J. 2013. Efecto del Pre-tratamiento de Biomasa Maderera en el Rendimiento a Etano. Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia. Información Tecnológica Vol. 24(5): 113-122.
- Flores, M. 2006. Elaboración de tableros OBS con residuos de la industria del laminado y dos tipos de adhesivos. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 77 p.
- Flores, Y; Ugalde, L; Galloway, G; Carrera, F. 2004. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia Peruana. Lima, PE, Recursos Naturales y Ambiente. 111-121 p.
- FPL (Forest Product Laboratory). 1987. Wood Handbook: woods as an engineering material. Department of agriculture. Agric. Hanb. 72 p. Washington DC, U.S.

- Frihart, CR; Hunt, CG. 2010. Wood handbook-Wood as an Engineering Material: Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. Madison, US, Department of Agriculture. 508 p.
- Guerra, A. 2015. Resistencia al cizallamiento de la línea de cola en madera de tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke procedente de plantaciones en la zona de Ucayali. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 42 p.
- Heritage, G. 1983. Adhesive bonding of wood and other structural materials. Surface properties of wood and their influence on bonding. Ed. RF Blomquist. Pennsylvania, US. The Pennsylvania State University v. 3 .436 p.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 2014a. Norma Técnica Peruana 250.010: 2014. Madera, Método para determinar el contenido de humedad.2 ed. Lima-Perú. 16 p.
- _____. 2014b. Norma Técnica Peruana 251.011:2014. Madera, Método para determinar la densidad. 2 ed. Lima-Perú. 9 p.
- _____. 2015. Norma Técnica Peruana 251.012: 2015. Madera, Método de determinación de la contracción. 3 ed. Lima-Perú. 6 p.
- _____. 2011. Norma Técnica Peruana 251.104: 2011. Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos. 10 p.
- Iwakiri, S. 1998. Painéis de madeira. Curitiba: FUPEF/Série didática no 1/98. 128p.
- Jiménez, F. Cuevas, I. Morales, E. 2006. Madera Laminada Encolada Estructural (MLE), resistencia al fuego y características mecánicas. Universidad Politécnica De Madrid. (UPM). España. Editorial abecedario, serie arquitectura.
- Kimmich, D. 2009. Propiedades físicas, mecánicas, usos y aplicaciones de la madera de *Eucalyptus grandis*. Argentina. Consultado el 10 de abril 2017. Obtenido de:<http://www.monografias.com/trabajos66/usos-eucaliptus-grandis/usos-eucaliptus-grandis.shtml>
- López, J. 1970. Estudio Silvicultural de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 89 p.

- López M, A. 1976. Resistencia y comportamiento al cizallamiento de la línea de cola de resorcinol-formaldehído en doce especies forestales. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 90 p.
- Marín, S (Ed.). 2011. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Pino pátula. *Pinus patula* Deppe in Schlecht. & Cham. Colombia. Editorial Blanecolor S.A.S. 105 p. Consultado 15 set 2017. Disponible en http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/cartillas/publicaciones_guias_silviculturales_para_el_manejo_de_especies_foresta2
- Meneses, S. 2011. Identificación de usos probables de *Pinus patula* Schlect.et Cham. Con base en la determinación de las propiedades físicos-mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Italqui – Cotacachi - Imbabura. Tesis de grado. Ecuador. Universidad Técnica del Norte. 197 p.
- Ohnesorge, D; Richter, K; Becker, G. 2009. Influence of wood properties and bonding parameters on bond durability of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) glulams. Ann. For. Sci. 67(601). 10 p.
- Ospina, H (Ed). 2006. Guías Silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Eucalipto. *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Colombia. Editorial Blanecolor S.A.S. 53 p.
- Pardo, D. 2006. Propiedades superficiales y evaluación de adherencia mecánica - química de laminados metal- polímero. Tesis Ing. Mecánico. Valdivia, CH, Universidad Austral de Chile. 106 p.
- Parra, L. 2009. Resistencia a tracao da madeira e resistencia ao cizalhamento no plano de cola, seus impacto na geometría do dente e propiedades mecánicas de emendas dentadas. Mestrado em Recursos Forestáis. Piracicaba, BR. Universidade de Sao Paulo. 105 p.
- Pérez, V, A. 1992. Manual de Madera Laminada. Manual N° 11. 2 ed. Santiago, CH. INFOR. 307 p.
- Poblete, H. 1978. Uniones de madera con adhesivos. Publicación Técnica N° 1. U. Austral de Chile.

- Quagliotti, S. 2008. Nota Técnica N° 10. Evaluación de la Resistencia al Cizallamiento por Compresión y Falla en Madera de uniones encoladas en Maderas Nacionales e Importadas. Departamento de Proyectos Forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).14 p
- Quevedo, VM. s. f. Adherencia y Adhesivos para madera. Alcalá-España. (En línea). 11 p. Consultado el 16 de enero. 2017. Disponible en: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-200637/TAB42359/ADHERENCIA%20Y%20ADHESIVOS%20PARA%20MADERA%20\(V%20Quevedo\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-200637/TAB42359/ADHERENCIA%20Y%20ADHESIVOS%20PARA%20MADERA%20(V%20Quevedo).pdf)
- Reynel, C; Pennington, R; Pennington, T; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la amazonia peruana y sus usos, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina, Royal Botanic Gardens Kew, Royal Botanic Gardens Edinburgh e ICRAF. 537 p. (ISBN 9972-9733-1-X).
- Rodríguez, N; Ramírez, H. 1964. Estudio experimental de una viga rectangular de madera laminada encolada. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Mérida.
- Rosboro. 2013. Glulam technical guide. Springfield. (En línea). 34 p. Disponible en: <http://www.rosboro.com/pdfs/techguide060326.pdf>
- Rubio D, J. 1996. Estadística Aplicada. Lima, PE, UNALM. 179 p.
- Sánchez Acosta, M. 1995, Experiencia Argentina en la utilización del eucalipto. Sem int. util. mad. de eucal. para serraria. Sao Paulo, Brasil. 74-91.
- _____. 2012. Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticornis*, Smith, su aptitud de usos en Argentina. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid – Palencia. 125 p.

- Sánchez A, M; Zakowicz, N; Harrand, L; Cuffre, A; Torran, E; Calvo P, J. 2005. Propiedades físico mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis* de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), Huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina. In Congreso Mundial IUFRO. 15 p. Consultado 18 nov. 2017. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-concordia_propiedades_fisico_mecanicas_de_3_origenes_de_e_grandis.pdf
- Solarte, S y Álava, M. 2014. Estudio de propiedades mecánicas de las maderas Guayacán trébol, Quiebra filo, Chanul, Pino patula, Sande y su relación con la densidad básica. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería. Pasto, CO. Universidad de Nariño. 81 p.
- Salazar, AH y Pérez, JH. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera cinco especies de encino del Estado de Puebla. *Madera y Bosque* 4 (2): 79-93.
- Takahashi, L. 1967. Resistencia al Cizallamiento de la Línea de Cola, en Quinilla Colorada (*Humiriastrum excelsum* Ducke). *Revista Forestal del Perú* 1 (2): 22-28.
- Tellechea J, A. s. f. La fabricación de la madera laminada encolada. s. l. (en línea). 5 p. Consultado 15 feb. 2017. Disponible en: http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/17453/1/RE_Vol%2029_08.pdf
- Tesón, N. 2011. Balance hidrológico y flujo de nutrientes asociados al agua en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, en Concordia (Entre Ríos). Tesis de grado de doctor en ciencias naturales. La Plata, ARG, Universidad de la plata. 176 p.
- Toval, G. s.f. Calidad de la madera de *Eucalyptus globulus* como materia prima para la industria pastero - papelera. Centro de Investigación Forestal de Lourizán.
- UNE-EN 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.
- UNE-EN 14080. 2013. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos. Editorial AENOR. Madrid-España. 109 p.
- Urban Brotons, P. 2013. Construcción de estructuras de madera. Alicante, ECU.
- Valdovino, M. 2005. Diseño, fabricación y ensayo de una losa de madera laminada verticalmente unida con cola fría. Tesis Ing. Civil. Valdivia, CH. Universidad Austral de Chile. 56 p.

- Vick C, B. 1999. Adhesive Bonding of Wood Materials. In: Wood handbook– Wood as an engineering material. Chap. 9: 1–24. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI US Department of Agriculture, Forest Service, For. Prod. Lab. 463 p
- Vinote, S; Martínez, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3 ed. Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa. 674 p.
- Vinueza, M. 2013. Ficha Técnica No. 14 Pino (*Pinus Patula*). Ecuador Forestal. Obtenido de: <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinus-patula/>.
- Yoza L. Baradit E. & Acevedo M. 2015. Caracterización de las propiedades físico mecánicas de especies, Pino (*Pinus patula*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas. Anales Científicos Vol. 76 No 1, pp. 12-16

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 DATOS TÉCNICOS DEL ADHESIVO EMPLEADO

Información de Producto

AkzoNobel

POLÍMERO 230

Generalidades

El polímero 230 es una resina líquida viscosa producida por condensación de la urea con Formaldehído, de aspecto blanco y opaco.

El polímero 230 posee un bajo contenido de formaldehído libre.

El Polímero 230, se cura ó polimeriza por completo, por la acción de un catalizador y/o efecto del calor, lográndose un polímero rígido, cristalino y termoestable.

El polímero 230 se caracteriza por su rápido curado, alta resistencia química y mecánica, gran dureza y alto poder de adhesión.

Aplicación

El polímero 230 es usado en la aglomeración de fibras de diferente naturaleza, en especial las de carácter lignocelulósico.

El polímero 230 es utilizado para la fabricación de triplex ó laminados de madera de diversos espesores, enchapado de tableros aglomerados con chapilla de madera ó foils de papel.

En la fabricación de plywood una formulación típica es:

PRODUCTO	KILOGRAMOS
RESINA UF AL 65%	100.00
HARINA	40.00
AGUA	40.00
CATALIZADOR SLN AL 20%	3.00
INMUNIZANTE	0.45
TOTAL	183.45

En la industria de la madera en general se usa como pegante para fabricar muebles, puertas entaboradas ó entableradas, enchape de tablero aglomerado con formica ó madera, etc.

En todas las aplicaciones anteriores es necesario el uso de un catalizador ácido (comúnmente una sal de amonio o sulfato de amonio) y presión (bien sea en frío o caliente) para lograr el pegue completo de las piezas.

Ventajas

Cada usuario tiene definida una formulación óptima de trabajo de acuerdo a sus condiciones de operación.

Especificaciones técnicas de despacho

Parámetro	Valor Inferior	Valor Superior	Método
Aspecto	Líquido Viscoso		MA - 006
Color	Blanco		MA - 006
Olor	A Formaldehído		MA - 006
Sólidos, % peso	64,00	- 66,00	MA - 058
Gravedad Específica (25/20 °C)	1,290	- 1,310	MA - 132
Viscosidad 25 °C, cPs.	200	- 600	MA - 434
pH 25 °C	8,00	- 8,60	MA - 311
Formaldehído Libre	0,00	- 0,60	MA - 054
Solubilidad en agua	Homogénea		MA - 399
Tiempo de Curado, seg.	50	- 80	MA - 396

Despacho

El polímero 230 se despacha en garrafa plástica de 55 galones o granel.

Almacenamiento y vida útil

El producto debe almacenarse bajo techo, su estabilidad depende de la temperatura:

Polímero 230	Estabilidad a diferentes temperaturas		
	35 °C	25 °C	20 °C
Tiempo en Meses	1.5	2.5	3.5

Nota: El tiempo de estabilidad se refiere al periodo de tiempo que transcurre hasta cuando el producto ha alcanzado un tope máximo de viscosidad de 1200 cPs.

Asistencia Técnica

El Servicio Técnico de Interquim S.A. podrá asesorar en las formulaciones en algunas aplicaciones recomendadas, de modo que permitan un uso fácil, eficiente, económico y estándar del producto.

Las informaciones que aparecen en este boletín son a nuestro entender confiables; Las recomendaciones de usos o aplicaciones son la opinión de Interquim S.A. El consumidor debe realizar sus ensayos para determinar el comportamiento del producto en sus propios procesos.

AkzoNobel Colombia: Interquim S.A. sólo da garantía en lo referente a las especificaciones del producto. SE RECOMIENDA LEER LA INFORMACION DE SEGURIDAD (MSDS) ANTES DE ALMACENAR, MANEJAR O USAR ESTE POLIMERO

Nota: Nuestra hoja de seguridad se suministra bajo pedido.

POLÍMERO 103

Generalidades

El Polímero 103 es un polímero de melamina-formaldehído acuoso.

El polímero 103 es completamente soluble en agua a temperatura ambiente y compatible con otras resinas nitrogenadas, entre ellas las de urea-formaldehído, lo cual permite una combinación rápida e íntima con las virutas celulósicas utilizadas en la producción de aglomerados de madera.

Aplicación

El polímero 103 tiene como objetivo, dar resistencia a la humedad. Sus principales aplicaciones son:

1. Elaboración de tableros aglomerados resistentes a la humedad, MF puro ó en mezcla con resinas UF (resina MUF in situ) y para la producción de tableros MUF que cumplan con la norma Europea para este tipo de tableros, norma V-313.
2. Enchapados de tableros melamínicos
3. Elaboración de vigas laminadas: si el polímero se emplea puro sin ningún tipo de mezcla, se puede emplear para vigas instaladas a la intemperie; si se mezcla

con resinas ureicas, su utilización debe ser únicamente para interiores.

4. Elaboración de pisos: los cuales por su alto tráfico y continua exposición al agua, requieren adhesivos que le ofrezcan muy buena resistencia y calidad en la línea de cola.
5. Puertas y ventanas: al igual que las vigas y pisos, estos productos, sobre todo los colocados en los exteriores de casas y edificios, deben tener adhesivos que permitan colocarlos a la intemperie, con la propiedad adicional de ofrecer líneas de cola transparentes.
6. Sellado de cantos de los tableros resistentes a la humedad: Los tableros deben tener los cantos sellados para evitar que el agua penetre y lo dilate, pudiendo ocasionar el deterioro del mismo.

Nota: Cada aplicación tiene una fórmula característica para su uso.

Ventajas

El polímero 103 tiene gran estabilidad durante el almacenamiento.

El Polímero 103 se puede usar con el Catalizador CFM 40, para optimizar los tiempos de producción.

Especificaciones Técnicas de Despacho

Parámetro	Valor Inferior	Valor Superior	Método
Aspecto		Líquido Viscoso	MA - 006
Color		Cristalino	MA - 006
Olor		A Formaldehído	MA - 006
Sólidos, % peso	76,50	- 79,00	MA - 057
Gravedad Específica (25/20 °C)	1,268	- 1,280	MA - 132
Viscosidad 25 °C, CPs.	530	- 730	MA - 434
pH 25 °C	8,50	- 9,50	MA - 311
Formaldehído Libre	0,00	- 1,00	MA - 053
Color Apha (* Hazen)	0	- 50	MA - 042

Despacho

El polímero 103 se suministra en garrafa plástica de 55 galones ó al granel.

Almacenamiento

El polímero 103, se ha diseñado para ser almacenado, preferiblemente, bajo techo, a temperaturas cercanas a los 25 °C lográndose una estabilidad de 3 meses. Se permiten almacenamientos cortos a temperaturas tan bajas como los 8 °C. Si este último es el caso y, el almacenamiento es prolongado (> 1 mes), pueden aparecer insolubles que se aprecian como nubes lechosas en la masa, las cuales pueden ser revertidas mediante un calentamiento y agitación suaves hasta los 50 °C en donde desaparecen por completo, dando la posibilidad de usar el producto en la forma normal, sin embargo, el producto recuperado de esta manera debe ser consumido en los siguientes 5 días.

Asistencia Técnica

El Servicio Técnico de Interquim S.A. podrá asesorar en las formulaciones en algunas aplicaciones, de modo que permitan un uso fácil, eficiente, económico y estándar del producto. Las informaciones que aparecen en este boletín son a nuestro entender confiables; Las recomendaciones de usos o aplicaciones son la opinión de Interquim S.A. El consumidor debe realizar sus ensayos para determinar el comportamiento del producto en sus propios procesos.

AkzoNobel Colombia: Interquim S.A. sólo da garantía en lo referente a las especificaciones del producto. SE RECOMIENDA LEER LA INFORMACION DE SEGURIDAD (MSDS) ANTES DE ALMACENAR, MANIPULAR O USAR ESTE POLIMERO.

Nota: Nuestra hoja de seguridad se suministra bajo pedido.

Ficha Técnica de Producto

CATALIZADOR CAT CFM 40

Generalidades

El CAT CFM 40 es un compuesto empleado como catalizador para las resinas urea formaldehído en aplicaciones de la Industria del mueble y la madera.

El catalizador CAT CFM 40 puede ser usado por aplicación separada, donde el catalizador es aplicado en el tablero primero y luego la resina es aplicada sobre el catalizador. También puede ser utilizado haciendo mezclas de catalizador y resina conservando exactamente la proporción de componentes recomendado por el personal de Interquim. Para cada aplicación debe determinarse las condiciones adecuadas de operación.

Especificaciones técnicas de despacho

Parámetro	Rango		Método
	Valor inferior	Valor Superior	
Aspecto		Líquido cristalino	MA - 006
Color		Amarillo a verde	MA - 006
Olor		Característico	MA - 006
Densidad (g/mL, 25°C)	1.050	-	1.080 MA - 071
Prueba de reactividad (tiempo de curado (25°C, 1% catalizador)			Superior 2 hr MA - 321
pH (25°C, 1% CAT. POL 216 FO)	5.5	-	6.0 MA - 311

Presentación

El catalizador CAT CFM 40 es entregado en garrafas de 20 y 200 Kg.

Almacenamiento

Se recomienda almacenar el producto bajo techo, a temperaturas inferiores a 25°C y con buena ventilación. Conservando las recomendaciones anteriores la estabilidad del CAT CFM 40 almacenado a 25 °C es de seis meses, debe evitarse el contacto con el agua o la humedad del medio ambiente para evitar deterioro o contaminación del mismo.

El catalizador CAT CFM 40 es corrosivo a metales, debido a la acidez del producto. Se debe de usar acero

Resistente al ácido o materiales poliméricos para largos periodos de almacenamiento del catalizador. Para tiempos cortos de contacto, acero inoxidable normal es suficiente. Materiales tales como cobre, hojalata o hierro no son recomendados para usarse con CAT CFM 40.

Instrucciones para manejo y limpieza

El catalizador CAT CFM 40 es clasificado como un compuesto corrosivo. Se debe evitar el contacto con la piel. Retirar la resina mediante lavado con agua tibia y jabón. Utilizar guantes y gafas protectoras cuando se esté manipulando este producto. Los equipos se deben lavar con agua tibia antes de que el pegante este curado.

Recomendaciones de Salud y Seguridad

Se recomienda consultar la hoja de seguridad, para ampliar información relacionada con el uso de equipos de protección personal, para el manejo adecuado del producto o sistema.

Asistencia Técnica

El Departamento Técnico de AkzoNobel podrá asesorar en las formulaciones para algunas de las aplicaciones recomendadas, de modo que permitan un uso fácil, eficiente, económico y estable del producto.

Las informaciones que aparecen en este boletín son a nuestro entender confiables; Las recomendaciones de usos o aplicaciones son la opinión de AkzoNobel. El consumidor debe realizar sus ensayos para determinar el comportamiento del producto en sus propios procesos.

Interquim S.A sólo da garantía en lo referente a las especificaciones del producto

SE RECOMIENDA LEER LA INFORMACION DE SEGURIDAD (MSDS) ANTES DE ALMACENAR, MANIPULAR O USAR ESTE PRODUCTO.

Fecha: 2015-04-18
Reemplazo: 2014-04-01
Publicado por: Rodrigo Echeverri
Motivo del cambio: Actualización de formato

Calle 10 Sur # 50 FF 26 Of. 402
Ed. Primer Plano
A.AA. 6585
Medellín, Colombia
www.akzonobel.com

T +57 4 351 9558
F +57 4 351 9559
interquim@akzonobel.com

ANEXO 2
CANTIDADES Y PROPORCIONES PARA LA MEZCLA

PRODUCTO	CANTIDAD (Kg)	%P/P
Polímero 230	3	48,00
Polímero 103	3	48,00
Catalizador CFM40	0,25	4,0
TOTAL	6,25	100,0

FUENTE: Akzonobel (2017)

El acceso a esta página está restringido por protección de datos personales o derechos de autor. Para tener acceso a ella acercarse a la Sala Tesis de la Biblioteca Agrícola Nacional “Orlando Olcese” de la UNALM .

ANEXO 4
CONDICIONES AMBIENTALES DE LA UNALM

Estación : VON HUMBOLDT , Tipo Automtica - Meteorológica 2								
Departamento : LIMA			Provincia : LIMA		Distrito : LA MOLINA		Ir : 2017-10 ▼	
Latitud : 12° 4' 55.95"			Longitud : 76° 56' 21.52"		Altitud : 247			
Día/mes/año	Temperatura (°c)			Humedad (%)	Lluvia (mm)	Presion (mb)	Velocidad del Viento (m/s)	Direccion del Viento
	Prom	Max	Min					
09-Oct-2017	15.68	20.1	12.6	81.04	0	984.5	3.37	249
10-Oct-2017	15.47	19.6	13.6	81.5	.2	984.54	3.17	276
11-Oct-2017	15.95	20	13.2	80.67	.1	984.23	3.44	261
17-Oct-2017	16.07	21.7	13.3	81.25	0	983.9	3.45	256
18-Oct-2017	16.51	22.4	14.4	80.29	0	985.04	3.48	256

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística
 * Informacion sin Control de Calidad
 * El uso de esta Informacion es bajo su entera Responsabilidad

ANEXO 5
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA EN EQUILIBRIO CON LA
TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA INDICADA.

Table 4-2. Moisture content of wood in equilibrium with stated temperature and relative humidity

Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																		
(°C)	(°F)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	(30)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	(40)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	(50)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	(60)	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	(70)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	(80)	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	(90)	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	(100)	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	(110)	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	(120)	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	(130)	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	(140)	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	(150)	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	(160)	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	(170)	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	(180)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	(190)	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	(200)	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	(210)	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	(220)	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	(230)	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	(240)	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	(250)	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	(260)	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	(270)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

FUENTE: Frihart y Hunt (2010)

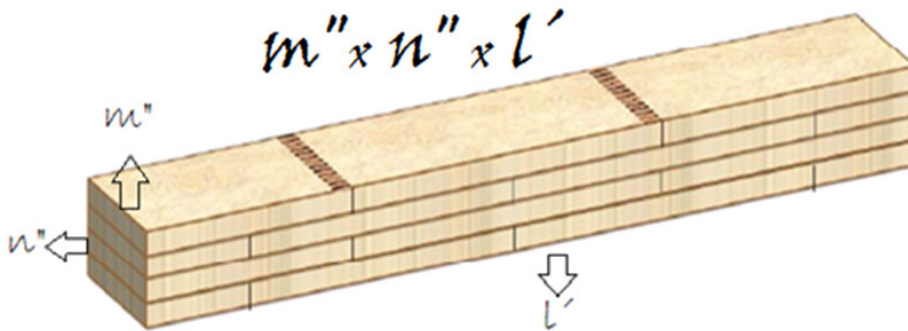
ANEXO 6
CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN LA MOLINA DURANTE LA
FASE EXPERIMENTAL.

FECHA	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	HR (%)	C.HUMEDAD EQUILIBRIO
9 OCTUBRE 2017	15,68	81,04	16,39
10 OCTUBRE 2017	15,47	81,50	16,56
11 OCTUBRE 2017	15,95	80,67	16,27
17 OCTUBRE 2017	16,07	81,25	16,48
18 OCTUBRE 2017	16,51	80,29	16,14
PROMEDIO	15,94	80,95	16,37

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 7 FABRICACIÓN DE LA MLE

Demkoff (2003) dice que fabricar madera laminada encolada es un proceso conceptualmente simple. A su vez, Arbeláez (2013) agrega que es un proceso sensible en cada uno de sus pasos, y que factores como: La humedad del medio ambiente, el tamaño de tablillas, cantidad y tipo de adhesivo son de suma importancia.



Viga Laminada con Laminación Horizontal

FUENTE: Elaborado en base a Donoso (2016)

A. OBTENCIÓN DE TABLILLAS

La lamela es la unidad fundamental que compone la MLE, Arbeláez (2013) menciona que procesos específicos como el secado, saneado de la madera y el maquinado de testas son necesarios para la obtención de ellas.

A.1 SECADO

Pérez, citado por Valdovino (2005), comenta que si el contenido de humedad de la madera es diferente a la humedad de equilibrio del ambiente ocasionará cambios dimensionales, los que producirán fuerzas o tensiones que pueden ser muy altas y dañinas. Es más, si esto ocurre durante el periodo en el cual el adhesivo está en el estado de gel suave, éste quedará permanentemente fisurado, resultando una unión de encolado débil.

Arbeláez (2013) recomienda que para obtener un secado más rápido y de mejor calidad el espesor de la madera no sea mayor de 5 cm ni menores de 3 cm, ya que son antieconómicas pues se debe utilizar mayor tiempo de maquinado y un mayor número de líneas de cola.

Tellechea (s.f.) agrega que la madera debe tener un contenido de humedad que se ubique dentro de los límites aptos para su encolado. Las colas permiten un intervalo de humedad del soporte bastante amplia, con un máximo del 15 por ciento. No obstante el porcentaje de humedad debe ser uniforme en todo el lote de madera utilizada y que esta precisión solo la permite el secado artificial.

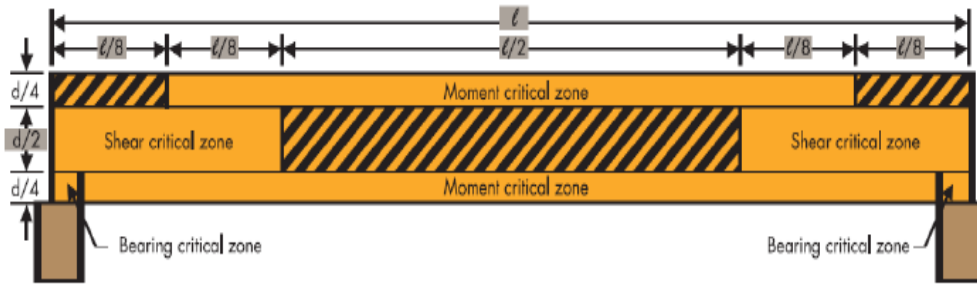
A.2. SANEADO

Este proceso es también conocido como el bonificado de la madera en donde se busca eliminar defectos naturales propios de la especie como son nudos, rajaduras, etc. Según Arbeláez (2013) este proceso consiste en detectar y desechar los nudos, la madera podrida; permitiendo menos incertidumbre en las propiedades mecánicas del material. Se descartan los nudos mayores de media pulgada, y se debe garantizar que los nudos restantes no queden en zonas críticas que afecten a los esfuerzos cortantes y que no queden en la unión de dientes.

A.3 PRE-ARMADO

Para el pre-armado se necesita cubrir parámetros de humedad para la ubicación de piezas, Demkoff (2003) recomienda que como operación principal se requiere ajustar el porcentaje de humedad entre un 12 por ciento y un 17 por ciento, con diferencias no mayores a cuatro por ciento entre tablillas y no mayor a dos por ciento en una misma tablilla.

Arbeláez (2013) comenta que es permitido el uso de la madera de menor calidad en sitios donde se presentan esfuerzos menores reduciendo los desperdicios de madera al mínimo, y indica las zonas donde se puede utilizar madera de menor calidad (Figura 2).



Zona de Menores Esfuerzos en Vigas

FUENTE: Rosboro (2013)

A.4 MAQUINADO DE EXTREMOS

Es un corte geométrico en los extremos de las maderas que se utiliza para lograr un correcto ensamble y así obtener una mayor longitud. Tellechea (s.f.) menciona que la mejor unión posible es de diente de sierra o “Finger Joint” que cumple una doble función: asegurar una correcta transmisión de los esfuerzos aumentando la resistencia de la madera y evitar la desconexión por deslizamiento relativo de las piezas.

Demkoff (2003) recomienda que para un empalme efectivo el largo de los dientes sea de 15 mm, ejerciendo sobre la unión una presión mínima 20 bares. Asimismo, la norma UNE-EN 14080 (2013) sugiere longitudes de 15, 20 y 30 mm para un empalme seguro.

B. OBTENCIÓN DE LISTONES

Según Valdovino (2005) esta operación se realiza para lograr elementos cuya longitud sea superior al largo que es posible obtener en la madera comercial y cualquiera sea el tipo de unión de extremos que se confeccione, este debe de ser hecha con precisión, correctamente alineada y fraguada con eficiencia.

Tellechea (s.f.) comenta que para esta unión los listones después de ser encolados en testas, se enlazan entre sí y se dejan en reposo con el fin de permitir la soldadura química de sus juntas.

C. OBTENCIÓN DE LA VIGA DE MLE

C.1. CEPILLADO

Según Tellechera (s.f.), el objetivo de esta operación es poder calibrar el espesor de los listones, para poder conseguir planos perfectos en la superficie, eliminar zonas de suciedad y células oxidadas de la superficie que pudiesen disminuir la adherencia.

En cuanto al tiempo que puede transcurrir para ser encolado, Valdovino (2005) sostiene que se ha demostrado que un buen cepillado, realizado 24 horas antes del encolado produce encolados de calidad y muy resistentes.

C.2. ENCOLADO

Las láminas cepilladas pasan por una encoladora que deposita en una de sus caras la cantidad de cola necesaria para su unión.

AkzoNobel (2009) indica que el gramaje depende del uso del elemento estructural y del tipo de adhesivo, y que se puede verificar que es correcto si al aplicar la presión se nota un leve lagrimeo en las uniones a lo largo de la línea de cola, por el contrario, un lagrimeo excesivo indicaría que hubo presiones muy altas o cuantías muy altas de adhesivos o la combinación de estos factores.

Según Tellechera (s.f.) las láminas encoladas se van superponiendo a la anterior (la cara sin cola sobre la superficie encolada de la precedente) hasta constituir la pieza completa que se desea fabricar.

C.3. EL PRENSADO

Demkoff (2003) indica que el prensado debe efectuarse de manera controlada con registro continuo de las condiciones ambientales. Para la polimerización del adhesivo es necesario que la presión se mantenga hasta que termine el proceso, este tiempo varía según el tipo de adhesivo, temperatura y la hidrometría ambiental.

Según AkzoNobel (2009), la presión de prensado depende del espesor de las láminas y del tipo de madera; cuando se usa madera blanda se requiere una presión entre 0,6 y 0,8 MPa para láminas con espesores de 33 mm, mientras que con láminas de 45 mm se requiere entre 0,8 y 1 MPa. Para maderas duras se requiere mínimo 1 MPa.

Referido al tiempo de prensado, Valdovino (2005) explica que es esencial que el elemento laminado ensamblado permanezca en los moldes, sometido a presión, bajo la temperatura ambiental y humedad relativa requerida, por el tiempo necesario, que asegure una buena resistencia de la línea de cola. Cuando exista la certeza de que esto haya ocurrido, se procederá a sacar la pieza de la prensa y agrega que los fabricantes de adhesivos recomiendan tiempos de prensado para diferentes productos; dependiendo de la ficha técnica del adhesivo.

C.4. FRAGUADO

Valdovino (2005) menciona que una vez que la viga de MLE se haya sacado de las prensas, se debe mantener inmóvil la pieza por un periodo determinado, que toma el nombre de maduración. Durante el periodo de prensado no se logra la resistencia máxima, el adhesivo solo ha fraguado, pero necesita de mayor tiempo para desarrollar totalmente la resistencia de la unión, por ello es conveniente dejarlo en reposo un tiempo más, este tiempo llamado maduración dependerá del tipo de adhesivo y de la temperatura ambiental donde se ha almacenado la estructura; dependiendo de la ficha técnica del adhesivo.

ANEXO 8
VALORES UNITARIOS DE PROBETAS DE PINO

N	MEDIO AMBIENTE					SATURADO					SECO AL HORNO				
	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)
1	29,24	29,53	100,50	36,11	82,2	29,94	30,10	100,36	95,72	90,9	28,82	28,46	100,16	31,42	84
2	29,30	30,13	99,98	36,21	86,2	30,22	31,12	100,35	101,42	90,4	29,13	29,3	100,13	32,00	83,1
3	29,62	29,99	100,37	42,93	89,2	30,22	31,26	100,93	101,61	90,5	29,10	29,41	100,42	37,52	84
4	29,67	29,50	100,56	36,12	87,9	30,04	31,00	101,90	80,42	88,5	29,17	29,00	101,36	31,53	82,2
5	29,73	29,81	100,71	39,62	86,9	30,14	30,00	101,21	101,83	91,5	29,19	28,76	101,04	34,52	82,4
6	30,13	27,84	90,98	38,82	81,7	30,38	29,38	100,41	97,31	83,9	29,36	27,95	100,19	33,73	78,1
7	29,80	29,56	100,82	37,43	87,1	30,17	30,18	101,42	98,51	92,7	29,19	28,86	101,21	32,93	86,5
8	30,08	30,16	100,25	41,43	88,7	30,55	31,72	100,72	100,63	90,9	29,36	29,28	100,37	36,33	84,1
9	29,54	29,85	99,89	38,92	85,5	30,21	30,50	100,16	99,42	89,4	29,20	29,09	100,04	34,00	82,4
10	29,64	29,92	99,80	38,72	86,3	30,88	31,12	100,32	100,41	87,5	30,13	29,42	100,09	33,92	82,4
11	30,18	29,07	100,18	39,41	85,4	30,32	30,14	100,67	98,23	88	29,43	28,32	100,44	34,41	80
12	29,68	29,77	100,20	39,52	86,9	30,11	30,80	100,68	101,00	89,9	29,39	29,06	100,33	34,42	82,8
13	29,47	29,38	100,24	37,00	83,9	29,66	30,04	100,58	94,43	85,3	28,78	28,43	100,35	32,12	79,1
14	29,94	30,15	100,32	39,90	87,4	30,55	30,63	100,95	103,40	89,8	29,17	29,00	100,64	34,91	83,1
15	29,58	29,37	99,54	34,82	83,6	29,91	30,67	100,13	95,20	87,6	28,94	28,69	99,95	30,32	81

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 9
VALORES UNITARIOS DE PROBETAS DE TORNILLO

N	MEDIO AMBIENTE					SATURADO					SECO AL HORNO				
	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)
1	29,55	30,54	100,18	50,71	88,7	30,06	31,44	100,37	82,11	93,1	28,92	29,31	100,32	44,31	83
2	30,87	30,39	100,2	50,72	89,4	30,08	31,62	100,51	79,52	94,2	28,96	29,82	100,23	43,31	83,7
3	30,03	29,95	100,44	50,20	89,6	30,13	31,35	100,68	78,00	94,1	29,43	28,85	100,32	44,31	84,7
4	30,17	30,15	100,44	51,14	89,8	30,25	31,37	100,68	76,33	94,4	29,24	29,08	100,55	44,72	83,9
5	30,13	29,70	100,93	52,81	89,8	30,55	31,08	101,34	68,71	94,9	29,61	28,89	100,89	45,00	85,2
6	30,46	30,07	100,76	50,42	89,2	30,57	31,33	101,13	68,81	93,7	29,30	29,57	100,93	44,48	85,4
7	30,24	29,93	100,62	52,11	88,9	30,31	31,09	100,77	69,33	93,0	29,30	29,19	100,66	46,26	84,6
8	30,36	29,45	100,41	50,73	82,2	30,28	30,97	100,59	76,83	92,7	29,61	28,72	100,22	43,45	83,2
9	30,21	30,15	100,56	50,41	89,7	30,27	31,47	100,67	80,61	94,2	29,47	29,54	100,41	44,75	85,2
10	30,28	29,83	100,60	51,61	89,2	30,36	31,45	100,94	74,51	94,3	29,71	29,37	100,43	44,74	85,1
11	30,07	30,02	99,75	51,13	88,8	30,23	31,33	100,18	78,00	93,4	29,35	29,26	99,88	44,56	84
12	30,02	29,90	100,33	50,33	89,1	30,43	31,16	100,43	70,51	93,6	29,39	29,33	100,21	43,21	85,1
13	29,98	30,35	100,31	51,83	90,1	30,34	31,69	100,70	78,41	94,8	29,28	29,21	100,54	45,31	84
14	30,15	29,79	100,68	50,00	89,6	30,13	31,00	100,93	77,33	93,9	29,37	28,74	100,57	44,12	84,8
15	30,23	30,14	100,53	50,83	89,7	30,44	31,39	100,75	81,63	94,8	29,61	29,14	100,36	44,11	85,2

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 10
VALORES UNITARIOS DE PROBETAS DE EUCALIPTO.

N	MEDIO AMBIENTE					SATURADO					SECO AL HORNO				
	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Radial (mm)	Tangencial (mm)	Longitud (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)
1	29,91	29,96	100,62	59,61	88,6	30,15	31,92	100,84	70,11	97,3	29,08	29,51	100,65	51,81	85,6
2	28,70	30,16	100,68	56,83	89,2	30,52	32,00	100,94	72,11	97,1	29,36	29,38	100,67	49,00	85,6
3	29,98	29,04	100,78	57,33	89,8	30,57	31,96	101,21	73,43	98,9	29,34	29,54	100,98	51,00	86,2
4	29,97	30,04	100,53	56,61	90,1	30,94	32,03	101,32	71,54	99	29,22	29,53	101,04	49,62	86,3
5	30,03	29,48	100,59	60,51	88,5	30,74	31,53	100,87	73,93	97,3	29,21	28,99	100,79	53,62	84,5
6	29,88	30,04	100,64	62,62	89,7	30,87	32,61	101,00	87,55	95,8	28,97	29,39	100,73	54,63	84,1
7	29,63	30,03	100,81	57,35	88,8	30,55	31,99	101,07	69,21	97,5	29,08	29,54	100,89	50,51	85,6
8	29,78	30,09	101,35	58,34	89,9	30,45	32,20	101,62	69,81	98,9	29,10	29,74	101,45	51,31	86,3
9	29,98	30,47	100,97	57,43	88,7	30,47	31,56	101,34	72,41	97,7	29,10	29,08	101,21	50,72	86,9
10	30,06	30,21	100,05	59,83	89,5	30,58	31,94	100,41	71,42	95	29,63	29,43	100,22	51,54	87,1
11	30,04	30,00	100,55	58,93	90	30,68	32,98	100,77	72,61	98,9	29,28	29,54	100,54	51,94	85,9
12	29,75	30,12	100,97	55,42	89,9	30,45	31,91	101,34	72,92	97,6	29,26	29,39	101,04	48,00	85,7
13	30,17	29,72	101,43	62,12	90,2	30,69	31,73	101,81	72,73	99,2	29,40	29,34	101,56	54,35	86,7
14	30,02	30,16	100,61	61,40	89,7	30,85	32,69	100,92	71,81	97,7	29,44	29,35	100,65	54,14	85,9
15	29,71	30,22	99,94	55,70	89	30,41	32,23	100,22	74,00	97,6	29,38	29,58	99,94	48,54	86

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 11
PROPIEDADES FÍSICAS DE PINO

N	DENSIDAD BASICA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CONTRACCION VOLUMETRICA (%)	CONTRACCION TANGENCIAL (%)	CONTRACCION RADIAL (%)	CONTRACCION LONGITUDINAL (%)	RELACION T/R
1	0,35	14,97	7,59	5,45	3,74	0,20	1,46
2	0,35	13,13	8,08	5,85	3,61	0,22	1,62
3	0,41	14,40	7,18	5,92	3,71	0,51	1,60
4	0,36	14,60	7,12	6,45	2,90	0,53	2,23
5	0,38	14,78	9,95	4,13	3,15	0,17	1,31
6	0,40	15,13	6,91	4,87	3,36	0,22	1,45
7	0,35	13,68	6,69	4,37	3,25	0,21	1,35
8	0,40	14,05	7,48	7,69	3,90	0,35	1,97
9	0,38	14,41	7,83	4,62	3,34	0,12	1,38
10	0,39	14,16	5,83	5,46	2,43	0,23	2,25
11	0,39	14,53	9,09	6,04	2,94	0,23	2,06
12	0,38	14,83	7,90	5,65	2,39	0,35	2,36
13	0,38	15,26	7,27	5,36	2,97	0,23	1,81
14	0,39	14,33	7,46	5,32	4,52	0,31	1,18
15	0,35	14,85	7,53	6,46	3,21	0,18	2,01
PROMEDIO	0,38	14,47	7,59	5,58	3,29	0,27	1,69

FUENTE: *Elaboración propia*

ANEXO 12
PROPIEDADES FÍSICAS DE TORNILLO

N	DENSIDAD BASICA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CONTRACCION VOLUMETRICA (%)	CONTRACCION TANGENCIAL (%)	CONTRACCION RADIAL (%)	CONTRACCION LONGITUDINAL (%)	RELACION T/R
1	0,48	14,45	10,85	6,81	3,79	0,07	1,79
2	0,46	17,09	11,15	5,76	3,72	0,28	1,55
3	0,47	13,32	9,99	7,97	2,32	0,38	3,43
4	0,47	14,32	11,12	7,30	3,34	0,13	2,19
5	0,47	17,33	10,22	7,05	3,08	0,44	2,29
6	0,47	13,51	8,86	5,62	4,15	0,20	1,35
7	0,50	12,77	9,03	6,11	3,33	0,11	1,83
8	0,47	16,82	10,25	7,27	2,21	0,39	3,28
9	0,47	12,75	9,55	6,13	2,64	0,26	2,32
10	0,47	15,44	9,76	6,61	2,14	0,51	3,09
11	0,48	14,83	10,06	6,61	2,91	0,30	2,27
12	0,46	16,44	9,08	5,87	3,42	0,22	1,72
13	0,48	14,35	11,39	7,86	3,49	0,16	2,25
14	0,47	13,38	9,69	7,29	2,52	0,36	2,89
15	0,47	15,19	10,13	7,17	2,73	0,39	2,63
PROMEDIO	0,47	14,80	10,08	6,76	3,05	0,28	2,21

FUENTE: *Elaboración propia*

ANEXO 13
PROPIEDADES FÍSICAS DE EUCALIPTO

N	DENSIDAD BASICA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CONTRACCION VOLUMETRICA (%)	CONTRACCION TANGENCIAL (%)	CONTRACCION RADIAL (%)	CONTRACCION LONGITUDINAL (%)	RELACION T/R
1	0,53	15,05	12,02	7,58	3,55	0,19	2,14
2	0,50	15,91	11,84	8,18	3,80	0,27	2,15
3	0,51	12,35	12,84	7,69	4,02	0,23	1,91
4	0,50	14,11	12,82	7,81	5,56	0,26	1,40
5	0,55	12,87	13,15	8,06	4,98	0,08	1,62
6	0,57	14,65	12,21	9,87	6,15	0,27	1,60
7	0,51	13,46	12,21	7,66	4,81	0,18	1,59
8	0,51	13,64	12,74	7,76	4,43	0,17	1,75
9	0,51	13,21	11,05	7,86	4,49	0,13	1,75
10	0,54	16,11	8,32	7,86	3,11	0,19	2,53
11	0,52	13,48	13,14	10,43	4,56	0,23	2,29
12	0,49	15,41	12,19	7,89	3,91	0,3	2,02
13	0,54	14,36	12,60	7,66	4,20	0,24	1,82
14	0,55	13,49	12,08	10,22	4,57	0,27	2,23
15	0,49	14,84	11,89	8,22	3,39	0,28	2,43
PROMEDIO	0,53	14,20	12,07	8,32	4,37	0,22	1,90

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 14
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

PINO				TORNILLO				EUCALIPTO			
A <i>(mm)</i>	E <i>(mm)</i>	F (lb)	CIZALLAMIENTO <i>(Kg/cm²)</i>	A <i>(mm)</i>	E <i>(mm)</i>	F (lb)	CIZALLAMIENTO <i>(Kg/cm²)</i>	A <i>(mm)</i>	E <i>(mm)</i>	F (lb)	CIZALLAMIENTO <i>(Kg/cm²)</i>
48,50	41,67	3420	76,76	48,81	41,53	7650	171,18	48,62	41,63	4610	103,31
48,74	41,78	5540	123,40	48,71	41,62	6000	134,24	48,53	41,55	5700	128,22
48,56	41,50	3560	80,13	48,75	41,74	7230	161,17	48,42	41,41	5600	126,68
48,70	41,93	4610	102,40	48,54	41,44	7000	157,85	48,61	41,76	5400	120,66
48,81	41,94	4430	98,16	48,57	41,24	7500	169,84	48,42	41,84	5200	116,43
48,72	41,52	4300	96,42	48,41	41,31	7650	173,51	48,52	41,63	5400	121,26
48,61	42,12	3830	84,85	48,22	42,41	6780	150,38	48,51	41,87	6000	133,99
48,63	41,92	3660	81,44	48,36	41,96	7350	164,30	48,53	41,66	5650	126,76
48,43	41,71	4600	103,29	48,56	41,82	6650	148,53	48,57	41,71	5850	130,98
48,52	41,74	4510	101,01	48,64	42,31	7050	155,39	48,35	41,71	5800	130,45
48,74	41,52	4240	95,04	48,58	41,91	6100	135,90	48,75	41,67	5700	127,27
48,56	42,12	4650	103,12	48,63	41,74	6000	134,08	48,54	41,78	5300	118,54
48,70	41,92	3800	84,43	48,51	41,41	7000	158,06	48,57	41,50	5800	130,52
48,81	41,71	5050	112,51	48,53	41,76	6500	145,48	48,41	41,93	5200	116,20
48,72	41,74	4430	98,81	48,57	41,84	6000	133,92	48,22	41,94	4800	107,66
Promedio			96,12	Promedio			152,92	Promedio			122,60
Prom.(Mpa)			9,43	Prom. (Mpa)			15,00	Prom. (Mpa)			12,02

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 15
HUMEDAD EN EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

	PINO			TORNILLO			EUCALIPTO	
PESO INICIAL (g)	PESO FINAL(g)	HUMEDAD (%)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	HUMEDAD (%)	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	HUMEDAD (%)
20,99	18,26	14,95	31,75	28,02	13,31	32,29	27,95	15,53
26,19	22,83	14,72	30,21	26,81	12,68	31,01	26,79	15,75
24,09	20,92	15,15	35,13	31,19	12,63	29,22	25,43	14,90
26,12	22,71	15,02	29,56	26,22	12,74	29,45	25,55	15,26
25,48	22,01	15,77	28,96	25,64	12,95	32,21	27,94	15,28
25,49	22,04	15,65	35,41	31,47	12,52	29,61	25,74	15,03
28,09	24,42	15,03	25,23	22,42	12,53	32,86	28,34	15,95
27,93	24,22	15,32	25,27	22,31	13,27	29,99	25,98	15,43
22,54	19,52	15,47	30,91	27,42	12,73	27,57	23,83	15,69
28,23	24,44	15,51	31,61	28,15	12,29	29,83	25,85	15,40
28,32	24,51	15,54	35,33	31,23	13,13	32,59	28,21	15,53
25,48	22,02	15,71	28,56	25,43	12,31	31,51	27,56	14,33
28,19	24,55	14,83	28,96	25,78	12,34	30,52	26,38	15,69
27,09	23,49	15,33	34,41	30,46	12,97	29,95	25,93	15,50
26,09	22,67	15,09	26,23	23,36	12,29	32,27	27,95	15,46
	promedio	15,27		promedio	12,71		promedio	15,38

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 16
HUMEDADES DE LAS TABLILLAS DE PINO

<i>PINO (90 X 115 mm)</i>					<i>PINO (102 X 127 mm)</i>				
8,8	9,3	9,5	8,4	8,1	8,3	9,1	9,3	8,3	8
9	8,4	8	8,5	8,5	9,6	8,3	8,4	9,6	8,8
8,4	10,8	9,8	9,1	9,7	9,8	9,3	10,8	9,8	8,5
8,5	8,1	8,8	8,3	8,8	8	8,4	8,1	8	8,9
9,1	8,5	8,7	9,3	8,3	9	10,8	8,5	9	8,7
8,3	9,7	8,3	8,4	9	9	8,1	9,7	9,1	9,2
9,3	8,8	9,6	10,8	8,4	8	8,1	8,8	8,3	8,4
8,4	8,3	9,8	8	8,5	8,8	8,5	8,3	9,3	10,8
10,8	9	8	9,8	9,1	8,3	9,7	9	8,4	8,1
8,1	8,4	9	8,8	8,3	9	8,8	8,4	10,8	8,5
8,5	8,5	9	8,7	9,6	8,4	8,3	8,1	8,1	8,3
9,7	9,1	8	8,3	9,8	9,3	9	8,5	8	9,6
8,8	8,3	8,8	9,6	8	8,4	8,4	9,7	8,8	9,8
8,3	9,3	8,5	9,8	9	10,8	8,5	8,8	8,5	8
8,8	8,4	8,9	8,5	9	8,1	9,1	8,3	8,9	9
8	10,8	8,7	9,7	8	8,5	8,3	9	8,7	8,9
8	8,1	9,2	8,8	8,8		9,3	8,4	9,2	
9	8,5		8,3			8,4			
	9,7					10,8			

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 17
HUMEDADES DE LAS TABLILLAS DE TORNILLO

TORNILLO (90 X 120 mm)					TORNILLO (102 X 127 mm)				
12,8	13,4	13,2	12	12,5	12	12,2	12,3	13,2	13,4
13,4	12,6	13,3	12,2	12,2	13	13,5	12,2	14	13,7
13,6	12,5	13,4	13	13,5	10,7	13,2	13	12	13,9
12	12,2	13,3	12,5	13,2	12	14	13	11,4	14
12,5	13,5	12,9	12,2	14	10,8	12	13,1	13,7	12
13,1	13,2	12,5	13,5	12	11,3	13,4	13,2	13,9	12,2
15	14	12	13,2	13,4	13,7	13,7	13,2	13	13
14,8	12	13	14	12,7	12,8	13,9	14	13,3	12,5
12	13,4	13	13,2	13,9	13,7	14	12	12	12,2
13	13,7	12,5	13,1	13	13,9	14	13,4	12,4	13,5
10,7	13,9	12,2	13,9	12,3	14	12	13,7	12,7	13,2
12	14	11,5	14,1	13,4	11,3	12,2	13,9	13,9	14
10,8	12	13,2	13	12,4	12,2	13	13	14	12
11,3	12,2	14	11,2	13,6	12,2	13,3	13,3	12	13,4
13,7	13	12	14,1	12,3	12,2	13,4	13,3	13,4	12,7
12,8	11,3	13,4	12,9	14,1	12,5	12,7	12,2	12,7	12,9
	13,4	13,7		12,2			13,5	13,9	13,7
							13,2	14	12,9
							14	13,2	13
							13,3	13,6	13,3
								12,7	
								13	

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 18
HUMEDADES DE LAS TABLILLAS DE EUCALIPTO

EUCALIPTO (90 X 120 mm)					EUCALIPTO (102 X 127 mm)				
15	13,9	13,6	14,9	14,2	14,8	14,8	15,4	14,9	15
14,8	13,6	13,8	14,6	14,6	13,5	13,5	14,2	14,6	14,8
15	14	14,9	15,4	14	13,8	13,8	13,6	14,8	15
14,3	14,1	14,6	14,2	13,8	14,6	14,6	14,4	13,5	14,3
13,9	14,2	14	13,6	14,9	14,6	14,6	14,5	13,8	13,9
14,3	13,9	14,2	14,4	14,6	14,5	14,5	15	14,6	14,3
15,4	14,8	14,6	14,5	14	14,5	14,5	14,9	14,6	13,5
14,2	13,5	13,6	15	14,2	15	15	14,6	14,5	13,8
13,6	13,8	14,5	14,9	14,6	15	13,6	15,4	14,5	14,6
14,4	14,6	13,9	14,6	14,9	14,8	14,4	14,2	15	14,6
14,5	14,6	14,6	13,8	14,6	15	14,5	13,6	15	14,5
15	14,5	14,4	14,9	14,2	14,3	15	14,4	14,8	14,5
14,9	14,5	14,4	14,6	14,6	13,9	14,9	14,5	15	14,9
14,6	15	14,1	14	13,4	14,3	14,6	15	14,3	14,6
	14,6		14,2				14,9	13,9	

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 19
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA
LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA PINO DE 90 X 115 mm

Sección (90x115 mm)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Promedio M .F (%)
1	45,17	45,71	3290	74	45,31	45,34	4050	80	45,32	45,28	3670	80	7,78	79,31	78,00
2	45,12	45,63	3570	74	44,98	45,44	3590	72	44,98	45,12	5000	72	8,65	88,19	72,67
3	45,23	45,29	3830	88	44,79	45,11	3720	80	44,96	45,19	3910	80	8,18	83,4	82,67
4	45,25	45,9	3750	76	45,32	45,19	3000	92	45,12	45,03	3320	100	7,12	72,65	89,33
5	45,2	45,28	3080	80	45,36	45,16	4480	100	45,12	45,41	3600	80	7,91	80,67	86,67
6	45,23	45,65	4450	100	45,02	45,11	3850	92	45,32	45,23	3710	100	8,51	86,8	97,33
7	44,93	45,62	4260	72	45,45	45,27	3800	88	45,28	45,39	3840	80	8,42	85,84	80,00
8	45,65	45,13	3050	88	45,23	45,28	3700	100	45,15	45,54	4800	80	8,16	83,26	89,33
9	45,40	45,02	4560	80	45,12	45,17	3160	80	45,10	45,32	4860	88	8,94	91,15	82,67
10	45,04	45,37	3710	72	45,22	45,05	4200	80	45,28	45,21	3600	88	8,18	83,41	80,00
													8,19	83,47	83,87

FUENTE: *Elaboración propia*

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 20
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA
LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA TORNILLO DE 90 X 115 mm

Sección (90X115 mm)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Promedio M .F (%)
1	45,36	45,5	4300	92	45,64	44,96	4650	92	44,98	45,61	4910	88	9,79	99,87	90,67
2	45,12	45,6	4630	100	45,56	44,95	4670	92	45,67	44,95	4810	100	9,98	101,72	97,33
3	45,41	45,12	4520	80	44,87	45,73	4330	80	44,97	45,51	4750	92	9,64	98,34	84,00
4	45,35	45,78	3880	80	45,45	45,02	3950	92	44,98	45,66	4050	92	8,39	85,53	88,00
5	45,32	45,62	4910	92	45,23	45,48	6470	92	45,45	44,95	6120	84	12,37	126,11	89,33
6	45,45	45,51	5170	80	44,87	45,43	5240	88	44,87	45,63	6140	80	11,73	119,6	82,67
7	44,99	45,49	5030	100	45,59	44,92	5060	92	45,51	44,86	5020	88	10,72	109,28	93,33
8	45,28	45,08	4320	80	45,38	45,01	4350	80	45,47	44,93	4450	92	9,32	95,00	84,00
9	45,04	45,53	3940	88	45,49	45,09	3050	80	44,98	45,8	4640	80	8,23	83,90	82,67
10	45,42	45,21	5180	100	44,81	45,39	3920	92	44,86	45,64	3950	100	9,27	94,50	97,33
													9,94	101,38	88,93

FUENTE: Elaboración propia

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 21
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA
LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA EUCALIPTO DE 90 X 115 mm

Sección (90X115 mm)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Promedio M .F (%)
1	44,9	45,54	6900	92	45,67	44,95	6270	80	44,93	45,66	6600	92	14,01	142,89	88,00
2	45,03	45,75	4500	80	44,97	45,51	5790	80	44,7	45,68	4420	88	10,44	106,45	82,70
3	45,76	45,06	4860	80	44,98	45,66	5110	100	45,87	44,73	4860	84	10,47	106,75	88,08
4	45,71	45,16	4930	100	45,45	44,95	4060	80	45,83	44,89	5760	88	10,40	106,10	89,30
5	45,70	45,01	5200	80	44,87	45,63	4500	100	45	45,64	4300	88	9,91	101,02	89,30
6	45,76	45,11	5750	92	44,87	45,63	5270	80	45,61	44,73	5590	80	11,75	119,85	84,00
7	45,13	45,62	4650	92	45,51	44,86	4180	100	44,82	45,45	5020	84	9,83	100,26	92,10
8	45,14	45,52	4620	88	45,47	44,93	4300	92	45,45	44,90	5830	100	10,46	106,66	93,30
9	45,12	45,74	5350	88	44,98	45,80	5500	80	45,61	44,94	5600	84	11,62	118,47	84,10
10	45,15	45,63	6140	88	44,86	45,64	5000	80	44,93	45,98	6850	80	12,72	129,66	82,70
													11,16	113,81	87,33

FUENTE: Elaboración propia

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 22
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA
LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA PINO DE 102 X 127 mm

<i>Sección</i> <i>(102X127</i> <i>mm)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M</i> <i>(lb)</i>	<i>M.F</i> <i>(%)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M</i> <i>(lb)</i>	<i>M.F</i> <i>(%)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F</i> <i>(%)</i>
1	45,64	44,96	3720	72	44,79	45,11	3960	80	45,17	45,71	3630	96
2	45,56	44,95	3250	100	45,32	45,19	3810	80	45,12	45,63	4250	92
3	44,87	45,73	4200	92	45,36	45,16	4210	80	45,23	45,29	4170	88
4	45,45	45,02	4800	80	45,02	45,11	4570	72	45,25	45,90	3970	80
5	45,23	45,48	3020	92	45,45	45,27	3040	72	45,20	45,28	4870	80
6	44,87	45,43	4870	80	45,23	45,29	4230	80	45,23	45,65	4070	100
7	45,59	44,92	4970	80	45,25	45,9	3000	100	45,12	45,03	3340	76
8	45,38	45,01	3910	92	45,20	45,28	3370	88	45,12	45,41	3960	72
9	45,49	45,09	3700	72	45,23	45,65	4250	92	45,32	45,23	4270	80
10	44,81	45,39	4100	76	44,93	45,62	4970	92	45,28	45,39	4140	100

Continuación de Anexo 22

Sección (102X127 mm)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Promedio M.F (%)
1´	44,97	45,60	4250	88	45,32	45,23	3200	80	45,23	45,65	3400	76	7,85	80,069	82,00
2´	44,83	45,54	4100	80	45,28	45,39	3940	72	45,12	45,03	3240	80	8,01	81,677	84,10
3´	45,54	44,98	3950	80	45,15	45,54	4810	80	45,12	45,41	4150	92	9,03	92,057	85,33
4´	45,54	45,00	3240	100	45,10	45,32	4400	72	45,32	45,23	4100	80	8,89	90,613	80,67
5´	44,98	45,54	4550	72	45,28	45,21	3550	100	45,28	45,39	3490	100	7,97	81,304	86,00
6´	44,92	45,43	4200	80	45,32	45,28	3800	100	45,17	45,71	3840	80	8,86	90,351	86,67
7´	44,95	45,59	3000	76	44,98	45,12	3860	80	45,12	45,63	3850	72	7,81	79,602	80,67
8´	45,17	45,63	3390	100	44,96	45,19	3350	80	45,23	45,29	4000	80	7,80	79,512	85,33
9´	45,42	44,72	4050	88	45,12	45,03	3900	88	45,25	45,90	4100	80	8,59	87,595	83,33
10´	44,87	45,47	4260	92	45,12	45,41	4000	88	45,20	45,28	4600	72	9,26	94,396	86,67
													8,41	85,718	84,07

FUENTE: Elaboración propia

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 23
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA
LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA TORNILLO DE 102 X 127 mm

<i>Sección (102X127 mm)</i>	<i>A (mm)</i>	<i>E (mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>	<i>A (mm)</i>	<i>E (mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>	<i>A (mm)</i>	<i>E (mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>	<i>A (mm)</i>	<i>E (mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>
1	44,98	45,61	4540	88	45,23	45,48	5640	80	44,97	45,51	4610	100	45,64	44,96	5180	92
2	45,67	44,95	4650	84	44,87	45,43	4080	80	44,98	45,66	4740	100	45,56	44,95	5680	80
3	44,97	45,51	6200	100	45,59	44,92	6200	100	45,45	44,95	5270	92	44,87	45,73	4260	80
4	44,98	45,66	4400	100	45,38	45,01	6250	100	44,87	45,63	4000	84				
5	45,45	44,95	6300	92	45,49	45,09	4900	80	45,51	44,86	3700	80	45,23	45,48	5050	88
6	44,87	45,63	5200	80	45,45	44,95	5200	88	45,64	44,96	3410	92				
7	45,51	44,86	5280	80	44,87	45,63	4550	80	45,56	44,95	4960	80	45,45	45,51	5710	88
8	45,47	44,93	3910	100	45,51	44,86	4400	100	44,87	45,73	3600	80				
9	44,98	45,80	3900	80	45,47	44,93	5250	80	45,45	45,02	3550	80	45,28	45,08	6180	92
10	44,86	45,64	5700	96	44,98	45,80	4820	92	45,23	45,48	3680	84				

Continuación de Anexo 23

Sección (102X127 mm)	A (mm)	E (mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A (mm)	E (mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A (mm)	E (mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A (mm)	E (mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Promedio M.F (%)
1	45,87	44,96	5300	88	44,81	45,62	5400	92	44,87	45,63	5410	88	45,67	44,83	5600	92	11,07	112,84	90,00
2	45,55	44,90	5410	80	45,70	45,05	5100	100	45,51	44,86	5050	88	45,11	45,59	3600	80	10,17	103,73	86,50
3	45,66	44,56	5620	92	45,67	44,83	3610	100	45,64	44,96	5720	100	44,77	45,83	5100	80	11,16	113,82	93,00
4	44,81	45,62	4360	88	45,11	45,59	3370	80	45,56	44,95	5040	88					9,72	99,15	90,00
5	45,70	45,05	3950	80	44,87	45,63	4800	88	44,87	45,73	5400	80	44,64	45,6	3800	88	10,07	102,73	84,52
6	45,67	44,83	3150	80	45,51	44,86	5750	88	45,45	45,02	5300	80					9,93	101,26	84,67
7	45,11	45,59	5640	100	45,64	44,96	6200	100	45,70	45,05	5200	84	45,68	44,6	5710	88	11,47	116,98	87,53
8	44,77	45,83	3240	80	45,56	44,95	3600	80	45,67	44,83	3060	80					7,73	78,84	86,67
9	45,68	45,09	5520	88	44,87	45,73	6320	84	45,11	45,59	4370	80	44,87	45,73	5280	80	10,72	109,33	83,00
10	44,64	45,60	4000	88	45,45	45,02	4300	88	44,77	45,83	4600	92					9,61	98,00	90,00
																	10,17	103,67	87,58

FUENTE: Elaboración propia

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 24

VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LA LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJES DE MADERA FALLADA PARA EUCALIPTO DE 102 X 127 mm

<i>Sección (102X127 mm)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>	<i>A(mm)</i>	<i>E(mm)</i>	<i>C. M (lb)</i>	<i>M.F (%)</i>
1	44,93	45,66	5080	80	45,45	44,95	7800	80	45,76	45,06	8050	96
2	44,70	45,68	5200	80	44,87	45,63	3030	88	45,71	45,16	8200	80
3	45,87	44,73	6700	100	44,87	45,63	6000	80	45,70	45,01	3050	80
4	45,83	44,89	4200	80	45,51	44,86	6200	84	45,76	45,11	5410	100
5	45,00	45,64	3000	84	45,47	44,93	3400	80	45,13	45,62	3500	80
6	45,61	44,73	5650	88	45,76	45,06	5640	92	44,87	45,63	8600	80
7	44,82	45,45	4760	88	45,71	45,16	6470	80	44,87	45,63	8100	84
8	45,45	44,90	6860	80	45,70	45,01	6260	80	45,51	44,86	4200	84
9	45,61	44,94	3800	88	45,76	45,11	5600	92	45,47	44,93	5400	80
10	44,93	45,98	2900	88	45,13	45,62	3210	80	45,12	45,74	3250	100

Continuación de Anexo 24

Sección (102X127 mm)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	A(mm)	E(mm)	C. M (lb)	M.F (%)	Resistencia promedio (N/mm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Promedio M.F (%)
1´	44,89	45,75	5090	100	44,97	45,51	5750	92	44,87	45,63	7610	96	13,95	142,22	90,67
2´	45,03	44,91	6770	92	44,98	45,66	5500	88	45,51	44,86	5400	80	12,10	123,39	84,67
3´	44,87	45,6	5220	88	45,45	44,95	5870	84	44,97	45,51	4760	88	11,20	114,19	86,67
4´	45,60	44,44	6900	80	44,87	45,63	6160	84	44,98	45,66	5040	80	12,02	122,53	84,67
5´	45,50	45,02	5240	80	44,87	45,63	4900	88	45,45	44,95	3900	88	8,48	86,507	83,33
6´	45,71	45,01	6450	80	44,97	45,51	5900	80	44,87	45,63	6400	88	13,68	139,54	84,67
7´	44,86	45,68	6410	92	44,98	45,66	5420	84	45,51	44,86	6800	100	13,46	137,21	88,00
8´	45,18	45,56	5830	88	45,45	44,95	5670	84	44,98	45,66	5000	88	11,97	122,11	84,00
9´	45,64	44,93	3200	80	44,87	45,63	4090	84	45,45	44,95	4860	88	9,54	97,238	85,33
10´	45,74	44,93	2920	88	45,51	44,86	5830	100	44,87	45,63	3610	80	7,68	78,341	89,33
													11,41	116,30	86,13

FUENTE: Elaboración propia

A: ÁREA

E: ESPESOR

C.M: CARGA MÁXIMA

M.F: MADERA FALLADA

ANEXO 25
CALIFICACIÓN DE LA UNIONES ENCOLADAS

ENSAYO	TRATAMIENTO	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		RELACIÓN PORCENTUAL (%)	MADERA FALLADA (%)	CALIFICACIÓN
		MADERA SOLIDA	MADERA ENCOLADA			
ESFUERZO CORTANTE	Pino (90 x 115 mm)	93,50	83,47	89	83,90	Excelente
	Pino (102 x 127mm)	93,50	85,72	92	84,07	Excelente
	Tornillo (90 x 115 mm)	89,00	101,38	114	88,93	Excelente
	Tornillo (102 x 127 mm)	89,00	103,67	116	87,58	Excelente
	Eucalipto (90 x 115 mm)	91,70	113,81	124	87,33	Excelente
	Eucalipto (102 x 127 mm)	91,70	116,33	127	86,13	Excelente

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 26
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN.

PINO (90x115 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	180	0	180	0	180	0	0	0
2	180	0	180	11	180	0	6,1	2
3	180	0	180	0	180	10	5,6	1,9
4	180	0	180	0	180	0	0	0
5	180	0	180	0	180	0	0	0
6	180	0	180	23	180	13	12,8	6,7
7	180	0	180	17	180	12	9,4	5,4
8	180	0	180	0	180	0	0	0
9	180	0	180	11	180	0	6,1	2
10	180	0	180	0	180	0	0	0
								1,8

FUENTE: Elaboración propia

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 27
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA PARA PINO
DE 102 X 127 mm

PINO (102x127 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	204	0	204	0	204	0	0	0
2	204	0	204	20	204	14	9,8	5,6
3	204	0	204	0	204	0	0	0
4	204	28	204	3	204	0	13,7	5,1
5	204	0	204	0	204	0	0	0
6	204	0	204	0	204	0	0	0
7	204	28	204	0	204	0	13,7	4,6
8	204	0	204	0	204	0	0	0
9	204	0	204	11	204	0	5,4	1,8
10	204	0	204	0	204	0	0	0
								1,7

FUENTE: Elaboración propia

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 28
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA PARA
TORNILLO DE 90 X 115 mm

TORNILLO (90x115 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	180	0	180	0	180	0	0	0
2	180	0	180	0	180	0	0	0
3	180	0	180	0	180	24	13,3	4,4
4	180	0	180	0	180	23	12,8	4,3
5	180	0	180	0	180	0	0	0
6	180	0	180	0	180	0	0	0
7	180	0	180	5	180	0	2,8	0,9
8	180	0	180	0	180	0	0	0
9	180	0	180	0	180	0	0	0
10	180	0	180	0	180	0	0	0
								1,0

FUENTE: *Elaboración propia*

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 29
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA PARA
TORNILLO DE 102 X 127 mm

TORNILLO (102x127 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	204	4	204	20	204	0	9,8	3,9
2	204	0	204	0	204	0	0	0
3	204	0	204	0	204	0	0	0
4	204	10	204	0	204	0	4,9	1,6
5	204	10	204	0	204	0	4,9	1,6
6	204	0	204	24	204	0	11,8	3,9
7	204	0	204	0	204	0	0	0
8	204	0	204	0	204	0	0	0
9	204	0	204	23	204	0	11,3	3,8
10	204	0	204	0	204	0	0	0
								1,5

FUENTE: *Elaboración propia*

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 30
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA PARA
EUCALIPTO DE 90 X 115 mm

EUCALIPTO (90x115 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	180	0	180	0	180	0	0	0
2	180	0	180	0	180	0	0	0
3	180	40	180	10	180	0	22,2	9,3
4	180	30	180	19	180	0	16,7	9,1
5	180	30	180	10	180	0	16,7	7,4
6	180	30	180	18	180	0	16,7	8,9
7	180	0	180	17	180	0	9,4	3,1
8	180	0	180	0	180	7	3,9	1,3
9	180	14	180	0	180	0	7,8	2,6
10	180	23	180	0	180	0	12,8	43
								4,6

FUENTE: Elaboración propia

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 31
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA LÍNEA DE COLA PARA
EUCALIPTO DE 102 X 127 mm

EUCALIPTO (102x127 mm)	L₁ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₂ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	L₃ (mm)	DELAMINACIÓN (mm)	DELAMINACIÓN MÁXIMA (%)	DELAMINACIÓN TOTAL (%)
1	204	0	204	20	204	30	14,7	8,2
2	204	0	204	0	204	0	0	0
3	204	30	204	20	204	0	14,7	8,2
4	204	44	204	0	204	4	21,6	7,8
5	204	0	204	0	204	0	0	0,0
6	204	0	204	0	204	14	6,9	2,3
7	204	8	204	0	204	0	3,9	1,3
8	204	0	204	13	204	0	6,4	2,1
9	204	43	204	0	204	3	21,1	7,5
10	204	5	204	12	204	0	5,9	2,8
								4,0

FUENTE: Elaboración propia

L: LÍNEA DE COLA

ANEXO 32
VALORES PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE ESFUERZO CORTANTE EN
LA LÍNEA DE COLA

ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm²)						
ESPECIES	PINO		TORNILLO		EUCALIPTO	
SECCIÓN (mm)	90x115	102x127	90x115	102x127	90x115	102x127
1	79,31	80,07	99,87	112,84	142,89	142,22
2	88,19	81,68	101,72	103,73	106,45	123,39
3	83,40	92,06	98,34	113,82	106,75	114,19
4	72,65	90,61	85,53	99,15	106,10	122,53
5	80,67	81,30	126,11	102,73	101,02	86,51
6	86,80	90,35	119,60	101,26	119,85	139,54
7	85,84	79,60	109,28	116,98	100,26	137,21
8	83,26	79,51	95,00	78,84	106,66	122,11
9	91,15	87,59	83,90	109,33	118,47	97,24
10	83,41	94,39	94,50	98,00	129,66	78,341
PROMEDIO	83,47	85,72	101,38	103,669	113,81	116,3

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 33
VALORES PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE DELAMINACIÓN EN LA
LÍNEA DE COLA

DELAMINACIÓN (%)						
ESPECIES	PINO		TORNILLO		EUCALIPTO	
SECCIÓN (mm)	90x115	102x127	90x115	102x127	90x115	102x127
1	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	8,2
2	2,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1,9	0,0	4,4	0,0	9,3	8,2
4	0,0	5,1	4,3	1,6	9,1	7,8
5	0,0	0,0	0,0	1,6	7,4	0,0
6	6,7	0,0	0,0	3,9	8,9	2,3
7	5,4	4,6	0,9	0,0	3,1	1,3
8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,1
9	2,0	1,8	0,0	3,8	2,6	7,5
10	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	2,8
PROMEDIO	1,8	1,7	1,0	1,5	4,6	4,0

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 34
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ESFUERZO CORTANTE

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RESISTENCIA	60	0.589	0.462	13.048

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11162.150	14	797.296	4.615	<0.0001
ESPECIE	9385.043	2	4692.522	27.163	<0.0001
SECCION	82.819	1	82.819	0.479	0.4923
BLOQUE	1694.077	9	188.231	1.090	0.3892
ESPECIE*SECCION	0.212	2	0.106	0.001	0.9994
Error	7773.905	45	172.753		
Total	18936.055	59			

Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

Error: 172.7534 gl: 45

ESPECIE	Medias	n	E.E.
P	84.593	20	2.939
To	102.527	20	2.939
E	115.069	20	2.939

Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

Error: 172.7534 gl: 45

SECCION	Medias	n	E.E.
S1	99.555	30	2.400
S2	101.904	30	2.400

Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

Error: 172.7534 gl: 45

ESPECIE	SECCION	Medias	n	E.E.
P	S1	83.468	10	4.156
P	S2	85.718	10	4.156
To	S1	101.385	10	4.156
To	S2	103.668	10	4.156
E	S1	113.811	10	4.156
E	S2	116.328	10	4.156

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=10.07342

Error: 172.7534 gl: 45

ESPECIE Medias n E.E.

P 84.593 20 2.939 A

To 102.527 20 2.939 B

E 115.069 20 2.939 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.83517

Error: 172.7534 gl: 45

SECCION Medias n E.E.

S1 99.555 30 2.400 A

S2 101.904 30 2.400 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=17.49275

Error: 172.7534 gl: 45

ESPECIE SECCION Medias n E.E.

P S1 83.468 10 4.156 A

P S2 85.718 10 4.156 A B

To S1 101.385 10 4.156 B C

To S2 103.668 10 4.156 C

E S1 113.811 10 4.156 C

E S2 116.328 10 4.156 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 35
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DELAMINACIÓN

Prueba de Friedman

P-S1	P-S2	To-S1	To-S2	E-S1	E-S2	T ²	p
3.30	3.00	2.40	3.10	4.80	4.40	3.49	0.0095

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 13.915

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
To-S1	24.00	2.40	10 A
P-S2	30.00	3.00	10 A B
To-S2	31.00	3.10	10 A B C
P-S1	33.00	3.30	10 A B C D
E-S2	44.00	4.40	10 C D E
E-S1	48.00	4.80	10 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 36
VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

ADHESIVO	DENSIDAD BAJA			DENSIDAD MEDIA			DENSIDAD ALTA		
	Esfuerzo de ruptura (kg/cm²)	Coefficiente de variación (%)	Adherencia (%)	Esfuerzo de ruptura (kg/cm²)	Coefficiente de variación (%)	Adherencia (%)	Esfuerzo de ruptura (kg/cm²)	Coefficiente de variación (%)	Adherencia (%)
RESORCINOL	58,89	10,01	61,5	71,5	8,37	78,75	70,08	5,05	66,25
PVA	63,54	16,39	85,75	77,21	12,68	70,7	77,78	10,0	73,75

FUENTE: Carmona et al., (1998)

ANEXO 37
VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LA
LÍNEA DE COLA Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

ESPECIE	LYPTUS		PARICA	
TRATAMIENTO	MUF			
	RESISTENCIA (MPA)	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	RESISTENCIA (MPA)	COEFICIENTE DE VARIACION (%)
SECO	9,5	16	6,2	6
HUMEDO	7,9	12	5,5	15
AGENTE IMPERMEABLE	7,7	8	4,4	4,4

FUENTE: Elaborado en base a Almeida et al., (2014)

ANEXO 38
VALORES DE PORCENTAJE DE DELAMINACIÓN

Espécie	Combinação		Numero de Corpos de prova	Delaminação (cm)	Delaminação (%)
	Adesivo	Tratamento			
Pinus	Purbond	Sem	9	5	1.5
		CCA	12	0	0.0
		CCB	10	35	9.7
		CCBS	5	2	1.1
	Cascophen	Sem	9	2	0.6
		CCA	12	3	0.7
		CCB	10	2	0.6
		CCBS	5	0	0.0
Teca	Purbond	Sem	9	6	1.9
		CCA	12	12	2.8
		CCB	10	2	0.6
		CCBS	5	0	0.0
	Cascophen	Sem	9	7	2.2
		CCA	12	0	0.0
		CCB	10	0	0.0
		CCBS	5	0	0.0
Lyptus	Purbond	Sem	9	123.5	38.1
		CCA	12	33	7.6
		CCB	10	17	4.7
		CCBS	5	13	7.2
	Cascophen	Sem	9	125	38.6
		CCA	12	48	11.1
		CCB	10	30	8.3
		CCBS	5	16	8.9

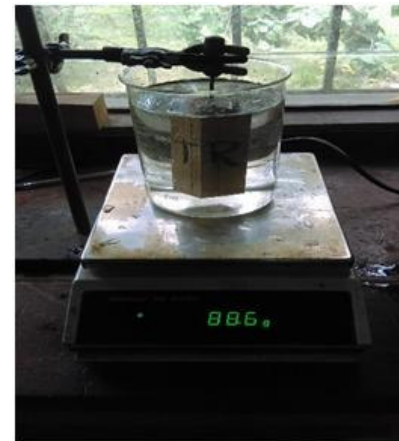
FUENTE: Calil Neto (2011)

ANEXO 39
CARACTERIZACIÓN DE DATOS

<i>Coefficiente de Variabilidad (CV)</i>	<i>Grado de Variabilidad de datos</i>
$0 < CV < 10$	Datos muy homogéneos
$10 \leq CV < 15$	Datos regularmente homogéneos
$15 \leq CV < 20$	Datos regularmente variables
$20 \leq CV < 25$	Datos variables
$CV \geq 25$	Datos muy variables

FUENTE: Rubio (1996)

ANEXO 40
ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS



ANEXO 41
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

