

DIRECCIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO AGRARIO ÁREA FORESTAL



**Efecto de la Presión a la Resistencia Mecánica en Tableros Encolados
y Macizos de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) Proveniente del
Raleo de una Plantación Forestal en Pucallpa**

Pucallpa, 2016

Primera Edición, Mayo 2016

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°2016-06856

Editado por:

Estación Experimental Agraria Pucallpa - INIA
Carretera Federico Basadre Km 4 – Pucallpa – Perú.
Teléfonos: 061-571813 / 061-575751 / Telefax: 061-575009
Programa presupuestal 0130 - “Aprovechamiento eficiente
de los recursos forestales y de fauna silvestre”

Elaboración y Edición:

- Ing. Jackson Ramírez Acho
- Ing. M. Sc. Pedro Pablo Reyes Inca
- Ing. M. Sc. Wálter Angulo Ruíz

Colaborador:

- Ing. M. Sc. David G. Lluncor Mendoza

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización

Impreso en:

Talleres de: Bastos Rioja Alcira Mercedes
Jr. Belizario Panduro Mz. 29 Lt. 02 - C.P. San José de Yarinacocha
Mayo 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
I. INTRODUCCIÓN	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.2. Definición de Tableros	6
2.3. El encolado de la madera	6
2.4. Características de la unión	7
2.4.1. Extendido o esparcimiento.	7
2.4.2. Presión	7
2.4.3. Temperatura	7
2.4.4. Tiempo	7
2.5. Factores que afectan la unión	7
2.5.1. Contenido de humedad	7
2.5.2. Densidad	7
2.5.3. Condiciones de la superficie	7
2.5.4. Dirección de la fibra	7
2.5.5. Orientación de los anillos de crecimiento anual	8
2.6. Adhesivos para la madera	8
2.7. Tipos de adhesivos	8
2.7.1. Adhesivos inorgánicos	8
2.7.2. Adhesivos orgánicos	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Selección de muestras	10
3.2. Procedimiento para recolección de datos	10
3.3. Elaboración de probetas para ensayos mecánicos	12
3.4. Ensayos mecánicos	13
3.5. Análisis estadístico	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
V. CONCLUSIONES	18
VI. RECOMENDACIONES	18
VII. BIBLIOGRAFÍA	19
ANEXO	21

RESUMEN

Existe cada vez mayor interés en el mercado por los productos obtenidos de la madera de *Calycophyllum spruceanum*, sin embargo la información al respecto es limitada, sobre todo la relacionada con madera generada en los primeros raleos de las plantaciones. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluó el efecto de cinco intensidades de presión en la resistencia mecánica a los esfuerzos de cizallamiento y tracción perpendicular en uniones de cantos lisos de madera procedente del primer raleo.

La evaluación se realizó en madera de *C. spruceanum* de una plantación de 7 años. Se aplicaron las siguientes intensidades de presión con torques: 9 lb pie⁻², 11 lb pie⁻², 13 lb pie⁻², 15 lb pie⁻² y 17 lb pie⁻² con un gramaje de adhesivo (acetato de polivinilo del tipo D4) de 300 g m², esto para obtener uniones encoladas que soporten las condiciones de uso de la madera.

Se tuvo como testigo la madera maciza obtenidas en el mismo raleo, con la finalidad de comparar la resistencia entre madera encolada y madera maciza.

Se presentaron diferencias significativas entre las presiones aplicadas a la resistencia al cizallamiento y a la tracción perpendicular de la madera encolada. Asimismo hubo diferencias entre madera maciza y madera encolada. Las intensidades de presión 17 lb pie⁻², 15 lb pie⁻² y 13 lb pie⁻² mostraron mayor resistencia al esfuerzo al cizallamiento en la línea de cola. Asimismo las intensidades de presión 15 lb pie⁻², 11 lb pie⁻² y 9 lb pie⁻² mostraron mayor resistencia al esfuerzo mecánico de tracción perpendicular en la línea de cola.

Palabras claves: Intensidades de presión, uniones encoladas, gramaje del adhesivo.

ABSTRACT

There is growing interest in the market for products derived from wood *C. spruceanum*, however the information about them is limited, especially related to wood generated in the first thinning of plantations. Therefore, in this study the effect of five intensities of pressure in the mechanical resistance to shear stress and tensile perpendicular joints smooth edges of wood from the first thinning was evaluated.

The evaluation was conducted in wooden plantation *C. spruceanum* of 7 years old. The following intensities of pressure were applied torques: 9 lb ft⁻², 11 lb ft⁻², 13 lb ft⁻², 15 lb ft⁻² and 17 lb ft⁻² with a weight of adhesive (polyvinyl acetate type D4) 300 g m⁻², this for glued joints to withstand the conditions of use of wood. It was witnessed solid wood obtained in the same thinning, in order to compare the resistance between glued wood and solid wood.

Significant differences between the pressures applied to the shear strength and tensile strength of the glued wood perpendicular presented. There were also differences between solid wood and glued wood. The intensities of pressure foot 17 lb ft², lb 15 lb ft⁻² and 13 lb ft⁻² showed greater resistance to shear stress at the glue line. Also intensities pressure 15 lb ft⁻², 11 lb ft⁻² and 9 lb ft⁻² showed greater resistance to mechanical stress of traction perpendicular to the glue line.

Keywords: Pressure intensities, glued joints, weight of adhesive.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las plantaciones forestales han captado una gran atención a nivel nacional debido a su capacidad para producir diferentes productos y servicios ambientales, resaltando la producción de madera para cercos, muebles, construcción, leña, etc. y su uso como un medio de conservación del agua y protección de los suelos (FONAM, 2007).

Una de las actividades que en una plantación forestal se realiza es el raleo, actividad que consiste en eliminar los árboles de menor importancia tanto en dimensiones, forma y calidad. El aprovechamiento de árboles de diámetro pequeños se ha convertido en una buena alternativa por cuanto son productos más fáciles de transportar a razón de su menor volumen y peso (CONAF, 2013). Una de las alternativas para el uso de estos productos de madera de menor diámetro y volumen, es la elaboración de tableros encolados con cantos lisos, alternativa que busca elaborar piezas de madera de mayor magnitud utilizando piezas de menor tamaño.

En el mercado actual existe requerimientos por los productos obtenidos de la madera de *Calycophyllum spruceanum*, por lo tanto es necesario realizar estudios sobre sus propiedades tecnológicas. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la resistencia al cizallamiento y a la tracción perpendicular a la línea de cola en las uniones encoladas, con cinco intensidades de presión con respecto a la resistencia de la madera sólida, proveniente del raleo de una plantación forestal de 7 años en la EEA- Pucallpa – INIA.

El presente estudio brindará información técnica que ayudará a mejorar las condiciones de trabajo en las carpinterías que tenga como materia prima la madera de *C. spruceanum* y el uso de adhesivos en la fabricación de tableros encolados a canto liso, que buscan obtener tableros con valores cercanos a la madera sólida.

Este estudio formó parte de las acciones dentro del convenio entre las instituciones: CITE madera – Pucallpa, Estación Experimental Agraria – INIA – Pucallpa y la Universidad Nacional de Ucayali y financiado por el Programa Presupuestal 0130

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características y propiedades de la madera de *Calycophyllum spruceanum* Benth

Según Sibille (2006). La madera de *C. spruceanum* presenta las siguientes características y propiedades:

2.1.1 Características organolépticas

Color amarillo claro; grano recto ligeramente entrecruzado; textura fina; brillo medio; veteado bandas paralelas.

2.1.2 Características de la estructura anatómica

Anillos de crecimiento. Diferenciados por bandas oscuras de forma regular.

Poros/Vaso. La madera presenta porosidad difusa. Poros no visibles a simple vista, solitarios y múltiples radiales de 2 a 4 en similar proporción de poros; moderadamente numerosos de 13 a 25 poros mm^{-2} . Platina de perforación poco a muy inclinada con perforación simple. Punteado intervacular opuestos con puntuaciones ovaladas y abertura incluida.

Parénquima. No visible a simple vista, tipo apotraqueal difuso. Terminal irregular no estratificado. Presencia de máculas medulares.

Radios. Visibles a simple vista, numerosos de 8 a 12 mm^{-1} lineal, no estratificados. Heterogéneos Tipo I y II en algunos casos radios fusionados. Alturas bajas a medianas entre 144 y 470 μ . Con glomérulos gomosos y depósitos de sílice.

Fibras. Libriformes, no estratificadas. El diámetro total es 22 μ , de pared gruesa de 6 μ y de longitud muy larga que varía entre 1306 y 2150 μ .

2.1.3 Propiedades físicas

Densidad básica (Alta). 0.76 g cm^{-3} . Relación del peso de la madera al 12% de CH° y su volumen verde.

Contracción tangencial. 9.0%, cambio dimensional en sentido tangencial.

Contracción radial. 5.0%, cambio dimensional en sentido radial.

Contracción volumétrica (Alta). 15.0%, cambios dimensionales en sentido radial, tangencial y longitudinal debido al cambio de CH° debajo del punto de saturación de las fibras.

Relación T/R (Estable). 1.8, clasifica la estabilidad de la madera ante los cambios dimensionales por la pérdida del agua higroscópica o decremento del contenido de humedad.

2.1.4. Propiedades mecánicas

La resistencia mecánica de la capirona se sitúa en el límite de la categoría media a alta.

Módulo de elasticidad en flexión. 150 000 kg cm^{-2} . Poco rígida a rígida.

Módulo de rotura en flexión. 723 kg cm^{-2} . Mediana.

Compresión paralela (RM). 283 kg cm⁻². Mediana.

Compresión Perpendicular (ELP). 67 kg cm⁻². Mediana.

Corte paralelo a las fibras. 87 kg cm⁻². Mediana.

Dureza en los lados. 425 kg cm⁻². Mediana.

Tenacidad (resistencia al choque). 2.1 kg-m. Mediana.

2.2. Definición de Tableros

Los tableros se definen como un material formado por piezas de madera seleccionados y preparados de forma recta o, con el grano de todas las piezas esencialmente adheridas en forma paralela al eje longitudinal. El tamaño de los tableros solo está limitado por la capacidad de la máquina que la produce. Durante la fabricación de estos elementos es posible sanear los defectos presentes en la madera maciza (principalmente nudos), para posteriormente, reconstituir mediante encolado las piezas obtenidas hasta alcanzar productos con dimensiones inimaginables para madera sólida (**Contreras 2005**)

Acevedo (2006). Indica que los tableros proceden de la unión mediante colas, de pequeñas piezas de madera maciza, previamente seleccionadas. El resultado es un tablero con un comportamiento mecánico muy bueno; ofrece una gran resistencia dados los avances desarrollados en los adhesivos de madera y la facilidad de esta para el encolado. La naturalidad, belleza y posibilidades de transformación de este material hace que su demanda por la industria sea creciente.

2.3. El encolado de la madera

Si la unión es encolada se espera que sea tan resistente como la madera misma, y esto depende no solamente de la calidad de la cola, si no que intervienen otros importantes factores como las propiedades físicas y químicas de la madera; las condiciones de las superficies a encolarse; el espesor y la forma del extendido de la línea cola; la presión, la temperatura y tiempo de prensado y la forma del acondicionado luego del prensado (**Takahashi, 2002**).

Según **Sibille (2006)**, la teoría de cómo se encola la madera se basa en dos tipos de uniones:

2.3.1. Unión mecánica

La cola más o menos fluida se introduce en los poros de las dos superficies al unir la madera y después por fraguado, la cola se convierte en un sólido de gran cohesión, anclado fuertemente en ambas piezas que quedan perfectamente unidas. La calidad del encolado depende de la rugosidad de la superficie de la madera, del número de poros que tenga y que estén abiertos (limpios) para que profundice la cola (permeabilidad de la madera).

2.3.2 Unión específica

Resulta de la atracción química entre los grupos activos polares de la cola. En este caso está demostrado que la rugosidad de la superficie perjudica la calidad del encolado. Influye la edad de la pieza con el tiempo transcurrido desde que se realizó la superficie a encolar, dado que con el tiempo el número de grupos polares activos disminuyen. Observar si se presentan diferencias de resistencia al cizallamiento de la línea de cola (kg cm⁻²), según las orientaciones Tg/Tg, Rd/Rd y Ob/Ob.

2.4. Características de la unión

2.4.1 Extendido o esparcimiento. Es la aplicación de la cola a las superficies a unir, este extendido debe cubrir toda la superficie de la madera, no solo en el momento de la aplicación, sino hasta el fraguado (AITIM, 2009). El mismo autor menciona que el adhesivo debe ser aplicado uniformemente para formar líneas de cola homogéneas; la cantidad de adhesivo depende de la suavidad y capacidad de adsorción de la superficie de madera y normalmente, puede estar alrededor entre los 60 y los 450 g m⁻²

2.4.2 Presión. Marín (2010), menciona que la presión debe ser lo suficientemente alta como para mantener las piezas de madera unidas mientras seca el adhesivo. Generalmente la presión puede estar entre los 5 y 12 kg cm⁻² considerando que, para uniones de chapa de madera se debe trabajar en la parte inferior del rango y para piezas curvas y madera solida se debe trabajar en la parte superior del rango de presión. Generalmente, el nivel de presión así como el tiempo de prensa deben incrementarse a medida que se aumenta el número y el espesor.

2.4.3. Temperatura. Aumenta la velocidad de las moléculas de la cola, facilitando el contacto entre grupos polares. También suele acelerar el fraguado de la cola, excepto en las tipo Hot Melt (AITIM, 2009). Siempre que se trabaje con madera, ésta se debe prensar en lo posible, a temperatura ambiente, pues se trata de un material vivo que se dilata y contrae dependiendo de las condiciones a las que este expuesto, lo que genera esfuerzos en las líneas de cola (Marín, 2010).

2.4.4. Tiempo. AITIM (2009), opina que para conseguir la unión es necesario un tiempo, en donde se establezcan las relaciones químicas necesarias y fragüe la cola.

2.5. Factores que afectan la unión

2.5.1 Contenido de humedad. El contenido de humedad óptimo es aquel que produce la unión encolada más resistente y que al ser incrementado por el agua del adhesivo, se acerque lo más posible al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el elemento laminado, cuando esté en servicio (Bruna, 2006).

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

2.5.3. Condiciones de la superficie. Bruna, R. (2006) afirma que las condiciones de la superficie de la madera en el momento del encolado son muy importantes a la hora de maximizar el comportamiento de la cola y por tanto la resistencia mecánica de la unión. El ojo humano puede evaluar fácilmente si la superficie es aceptable (rugosidad, tendencia a deformarse, condiciones generales, etc.). Una superficie dañada por una mala mecanización puede originar serios problemas.

2.5.4. Dirección de la fibra. Según Aguilera y Vega (2004) la inclinación de la fibra respecto al plano de cola tiene influencia sobre las propiedades de adhesión. En Pinus radiata se ha encontrado que la adherencia tiende a disminuir a medida que el ángulo entre las fibras de los elementos encolados aumenta. Además, se sabe que el ángulo de las fibras respecto al plano de cola crea tensiones secundarias que se manifiestan como esfuerzos cortantes que tienden a producir fracturas a lo largo de las fibras y esfuerzos normales que producen tracción en dirección normal a estas. Así mismo

menciona que independiente de las condiciones de maquinado y del espesor de viruta utilizados en este estudio, un cambio en el ángulo de las fibras de la madera tiene un gran efecto sobre la calidad de la superficie. Para las mismas condiciones de corte un cambio del ángulo que se encuentre cercano a 60° o superior generará una superficie de calidad notoriamente deteriorada respecto de ángulos inferiores.

2.5.5. Orientación de los anillos de crecimiento anual. Según Karsulovic (1988) citado por **Gallardo (1999)**, la orientación de los anillos de crecimiento anual tiene influencia y se refleja en las propiedades de adhesión de la unión. En efecto, la adhesión está en función de la naturaleza y porosidad de la superficie de la madera. Por lo tanto, según sea la orientación de anillos, la superficie a encolar puede presentar distintas características que serán determinadas según la disposición relativa de los elementos anatómicos (vasos, fibras y radios leñosos en latifoliadas y traqueidas y radiotraqueidas en coníferas).

2.6. Adhesivos para la madera

Oñoro, J. (2006) menciona que un adhesivo es un material que permite la unión entre dos superficies o sustratos en el que actúan dos fuerzas esenciales, la adhesión y la cohesión: la adhesión es la fuerza de unión que se produce entre el adhesivo y el sustrato; y la cohesión es a la resistencia ejercida en el interior del adhesivo. La adhesión es por lo tanto, la suma de las fuerzas físicas y mecánicas de atracción y adsorción. La máxima adhesión se consigue cuando el adhesivo está en contacto íntimo con las zonas a unir. Este es el motivo por el que el adhesivo debe penetrar totalmente en la rugosidad superficial y mojar toda la superficie. La cohesión es la fuerza entre moléculas dentro del propio adhesivo, manteniendo el material unido. La resistencia de una unión adhesiva se evalúa realizando un ensayo de rotura de la unión.

2.7. Tipos de adhesivos

CONICYT (2007) en función del material utilizado para realizar la unión se distingue los siguientes tipos de colas o adhesivos según su origen:

2.7.1. Adhesivos inorgánicos. Como son el silicato sódico, cemento y yeso.

2.7.2. Adhesivos orgánicos. Se clasifican en:

1. Adhesivos o colas naturales. Animales (pieles, huesos, pescado, albúmina, caseína) y vegetales (almidón, semilla de soja).

2. Adhesivos sintéticos. Dentro de los adhesivos sintéticos, que son las que más se utilizan actualmente, se distinguen:

a) Adhesivos termoplásticos. Una vez fraguados recobran su plasticidad por la acción del calor. Tienen resistencia al despegue entre buena y moderada.

- Emulsiones vinílicas: acetato de polivinilo (PVAC), policloruro de vinilo (PVC), Acetato de vinilo y etileno (EVA), etc.
- Adhesivos termofusibles (hot - melt). El término termofusible define su forma de aplicación. Se suministran en forma de resina sólida, que se vuelven líquidas con la aplicación del calor y que se vuelven a endurecer cuando se enfrían.
- Adhesivos de caucho natural o sintético.
- Adhesivos de poliuretano.

- Adhesivos epoxídicos.
- Adhesivos mixtos de epoxi y poliuretano.

b) Adhesivos termoestables. Una vez fraguadas no recobran su plasticidad por la acción del calor.

- Urea formaldehído (UF).
- Melamina urea formaldehído (MUF).
- Melamina fenol formaldehído (MPF).
- Fenol formaldehído (PF).
- Resorcina formaldehído (RF) y de resorcina-fenol formaldehído (RPF).
- Isocianato.

Según Poblete y Cuevas (1998), la norma EN 204 clasifica las uniones en clases de durabilidad (Figura 1):

Clase de durabilidad	Condiciones climáticas
D1	Interior, temperaturas máximas de 50° C por periodos cortos y humedad máxima en la madera de 15%
D2	Interior con exposición ocasional a humedad condensada o a condiciones con humedad alta que no den como resultado una humedad de la madera mayor al 18%
D3	Interior con exposición frecuente a periodos cortos con humedad condensada o con alta humedad. Exterior no expuesta
D4	Interior con exposición frecuente a periodos largos con humedad condensada. Exterior expuesta pero con protección superficial

Figura 1. Clases de durabilidad según norma EN 204

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Selección de muestras

La muestra estuvo constituida por 100 árboles raleados de 7 años de *C. spruceanum*, los cuales fueron donados por la Estación Experimental Agraria – INIA – Pucallpa. De cada uno de estos árboles raleados se extrajeron en promedio 4 tablillas, obteniéndose 400 tablillas. Las tablillas seleccionadas fueron de dimensiones 25mm x 55 mm x 800 mm (espesor, ancho, largo), condición saturada. De las 400 tablillas se escogieron al azar 60 tablillas con las cuales se confeccionaron 120 probetas para los ensayos mecánicos de cizallamiento y de tracción perpendicular que sirvieron como testigo, estas probetas tenían orientación radial y tangencial respectivamente, y estuvieron divididas en 60 probetas para cizallamiento, 30 en orientación radial y 30 en orientación tangencial y 60 probetas para tracción perpendicular, 30 en orientación radial y 30 en orientación tangencial. De las 340 tablillas restantes, se escogieron al azar 60 tablillas, las cuales no se escogieron con sentido de orientación, con estas 60 tablillas se realizó el encolado, teniendo en cuenta la intensidad de presión a aplicarse, obteniéndose 30 pares de tablillas, subdivididas en 6 pares de tablillas por cada intensidad de presión, con las cuales se elaboraron las probetas para los ensayos mecánicos de cizallamiento y tracción perpendicular dividido de la siguiente manera:

Tabla 1. Distribución de probetas de cizallamiento y tracción perpendicular a la línea de cola e intensidad de presión.

Cizallamiento		Tracción Perpendicular	
12 probetas	9 lb pie ⁻²	12 probetas	9 lb pie ⁻²
12 probetas	11 lb pie ⁻²	12 probetas	11 lb pie ⁻²
12 probetas	13 lb pie ⁻²	12 probetas	13 lb pie ⁻²
12 probetas	15 lb pie ⁻²	12 probetas	15 lb pie ⁻²
12 probetas	17 lb pie ⁻²	12 probetas	17 lb pie ⁻²

El tipo de muestreo que se realizó para el trabajo de investigación fue muestreo por conglomerado, y estuvo dividido de la siguiente manera:

- 1er conglomerado: árboles.
- 2do conglomerado: tablillas.
- 3er conglomerado: par de tablillas encoladas.

3.2. Procedimiento para recolección de datos

La identificación de la especie se hizo anatómicamente a nivel microscópico y por el método de comparación con los archivos de identificación de especies forestales que existen en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Ucayali.

Para la fabricación de los pares de tablillas encolados se utilizó el adhesivo acetato de polivinilo, PVA del tipo D4 de nombre comercial (reacción química-WP2271) por ser una de las más usadas a nivel internacional, la cual fue facilitada por American Forestal NSC. El adhesivo ha cumplido con los requisitos de la norma europea EN204: 2001 y la durabilidad de la clase D4, cuyas propiedades son:

Tabla 2. Propiedades del adhesivo de RETICULACIÓN Wp2271

PRODUCTO	ADHESIVO DE RETICULACIÓN WP2271
Base química	Acetato de polivinilo
Clase	D4
Color	blanco
Viscosidad	4000 pcs
pH	5,1
Densidad	1.1383 gr/cm ³
Sólidos	55%

En la fabricación de los pares de tablillas se realizó el control de humedad, mediante un higrómetro de pines, de todas las tablillas a encolar encontrándose un promedio de 13.5% de contenido de humedad. Una vez determinado el contenido de humedad de las tablillas las caras fueron cepilladas y los cantos garlopeados obteniéndose superficies lisas y escuadradas (20 mm espesor x 50 mm ancho x 800 mm largo) pero lo cual se utilizó cuchillas de tipo HSS. Las tablillas a encolar se escogieron al azar sin tener en consideración la dirección de corte (tangencial, oblicuo y radial) utilizando un gramaje de cola de 300 g m⁻², esparciéndola con una brocha plana N° 10 en una sola cara de los cantos de cada tablilla, el tiempo de prensado fue de 2 horas y el tiempo de fraguado fue de 48 horas luego de retirarse de la prensa. Para determinar el gramaje en los cantos de las tablillas se utilizó la siguiente expresión:

$$G = [(PMe - PM) / (Ae)]$$

Dónde:

G = Gramaje en g m⁻².

PMe = Peso de madera encolada en g.

PM = Peso de madera sin encolar en g.

Ae = Área encolada en m⁻².

Para el estudio se aplicaron cinco intensidades de presión utilizando un torquímetro de tipo click que trabaja con unidades de torque (lb pie⁻²), que mediante cálculos se obtuvo las siguientes igualdades 9 lb pie⁻² (44 kg m⁻²) (0.3287 Kgf cm⁻²), 11 lb pie⁻² (54 kg m⁻²) (0.4017 Kgf cm⁻²), 13 lb pie⁻² (63 kg m⁻²) (0.4747 Kgf cm⁻²), 15 lb pie⁻² (73 kg m⁻²) (0.5477 Kgf cm⁻²) y 17 lb pie⁻² (83 kg m⁻²) (0.6208 Kgf cm⁻²), los cuales estuvieron ejerciendo las fuerzas en sentido paralela al plano de las tablas, esto es perpendicular a las uniones de la cola, de tal manera que mientras se producía el fraguado de la cola a condiciones ambientales por un tiempo de dos horas (tiempo de prensado) se estuvo manteniendo las presiones sobre los cantos de las tablas donde se aplicó cola. Para verificar la igualdad mediante los cálculos ponemos un ejemplo de como se hizo los cálculos para llegar a las igualdades:

Presión: 9 lb pie⁻²

1 lb pie⁻² = 1.36 Nm

1 m² = 10 000 cm²

1 kgf = 9.8 N

$$P = \frac{F}{A} \longrightarrow T \frac{F.L}{V} = \frac{N.m}{m^3} \longrightarrow T = \frac{N}{m^2}$$

Dónde: P = presión
F= fuerza
A = área

➤ 9 lb/pie x 1.36 Nm = 12.24 Nm x 4 presionadores = 48.96 Nm

Volumen de las tablillas:

➤ Largo: 0.80 m
➤ Ancho: 0.05 m
➤ Espesor: 0.019 m

$$0.00076 \text{ m}^3 \times 2 \text{ tablillas} = 0.00152 \text{ m}^3$$

$$P = \frac{48.96 \text{ Nm}}{0.00152 \text{ m}^3} = 32210.53 \frac{\text{Nm}}{\text{m}^2}$$

$$P = 32210.53 \frac{\text{Nm}}{\text{m}^2} \times \frac{1 \text{ Kgf}}{9.8 \text{ N}} = 3286.79 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P = 3286.79 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

$$P = 0.3287 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

Los pares de tablillas fueron cepillados para uniformizar la superficie, cuyas dimensiones fueron (18 mm espesor x 50 mm ancho x 800 mm largo).

3.3. Elaboración de probetas para ensayos mecánicos

Las probetas fueron obtenidas del centro de los pares de tablillas, donde fueron cortadas en hileras perpendiculares a la línea del adhesivo según medida para la fabricación de las probetas, extrayéndose un total de cuatro probetas por cada par de tablillas, divididos en dos para los ensayos mecánicos de cizallamiento y dos para los ensayos mecánicos de tracción perpendicular, obteniéndose un total de 12 probetas para los ensayos mecánicos de cizallamiento y 12 probetas para tracción perpendicular por intensidad de presión (tratamientos)

Para la obtención de las probetas testigos se escogieron tablas con sentido de corte radial y sentido de corte tangencial. También las probetas se elaboraron para ambos ensayos mecánicos (Figura 2).

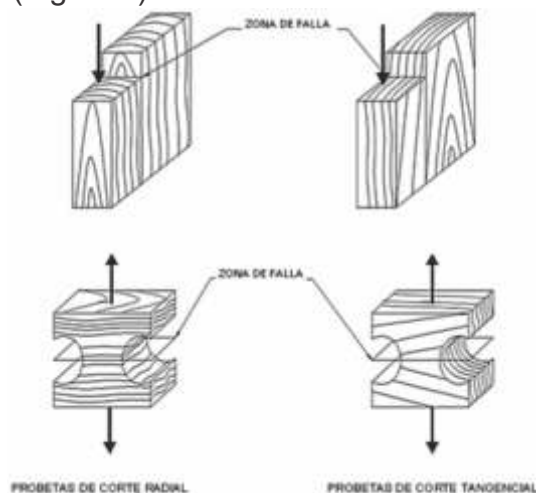


Figura 2. Probetas de sentido de corte radial y tangencial para los ensayos mecánicos de cizallamiento y tracción perpendicular en uniones de cantos (Beraun, 2014).

3.4. Ensayos mecánicos

a) Esfuerzo al cizallamiento

Los ensayos de esfuerzo mecánico al cizallamiento de la línea de cola se realizaron adecuando las probetas a la norma NTP 251.013. Para el cálculo se utilizó la siguiente relación:

$$E_{\text{cizalle}} = \frac{Q}{a.l}$$

Dónde:

- Q : Carga para la cual se obtiene la falla de la probeta (kg).
- l : Promedio de las alturas del plano de falla de la probeta (cm).
- a : Promedio de los anchos del plano de falla de la probeta (cm).

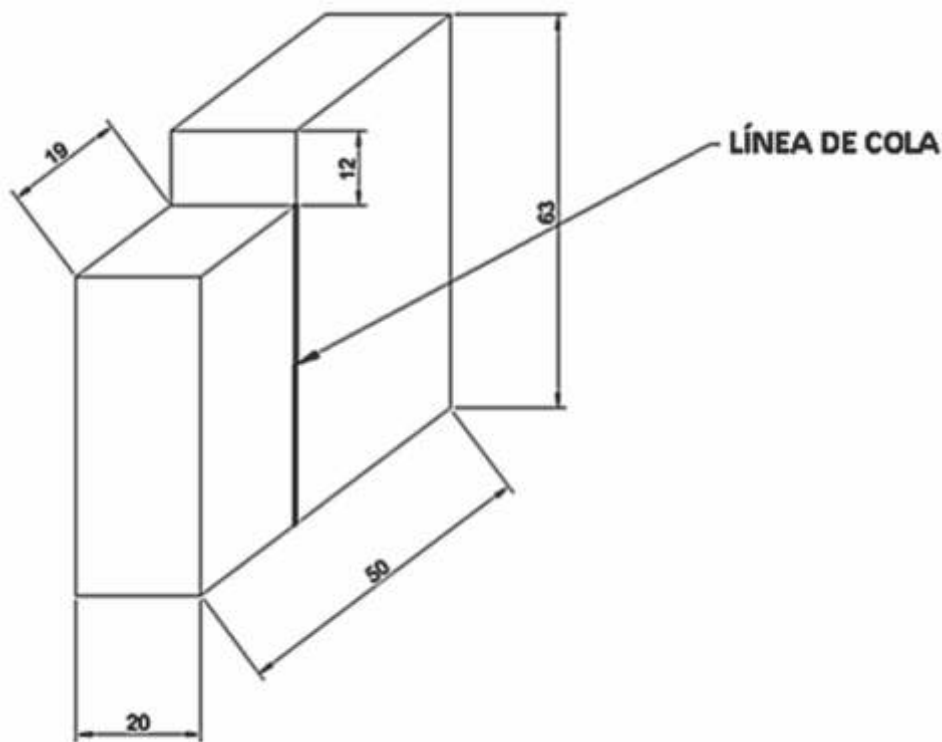


Figura 3. Medida en mm de probeta para ensayo mecánico de cizallamiento (Beraun, 2014).

b) Esfuerzo a la tracción perpendicular

Los ensayos de esfuerzo mecánico a la tracción perpendicular de la línea de cola se realizaron adecuando las probetas a la norma NTP 251.085. Para el cálculo se utilizó la siguiente relación:

$$E_{\text{Tracción perp.}} = \frac{Q}{a.l}$$

Dónde:

Q : Carga para la cual se obtiene la falla de la probeta (Kg).

l : Promedio de las alturas del plano de falla de la probeta (cm).

a : Promedio de los anchos del plano de falla de la probeta (cm).

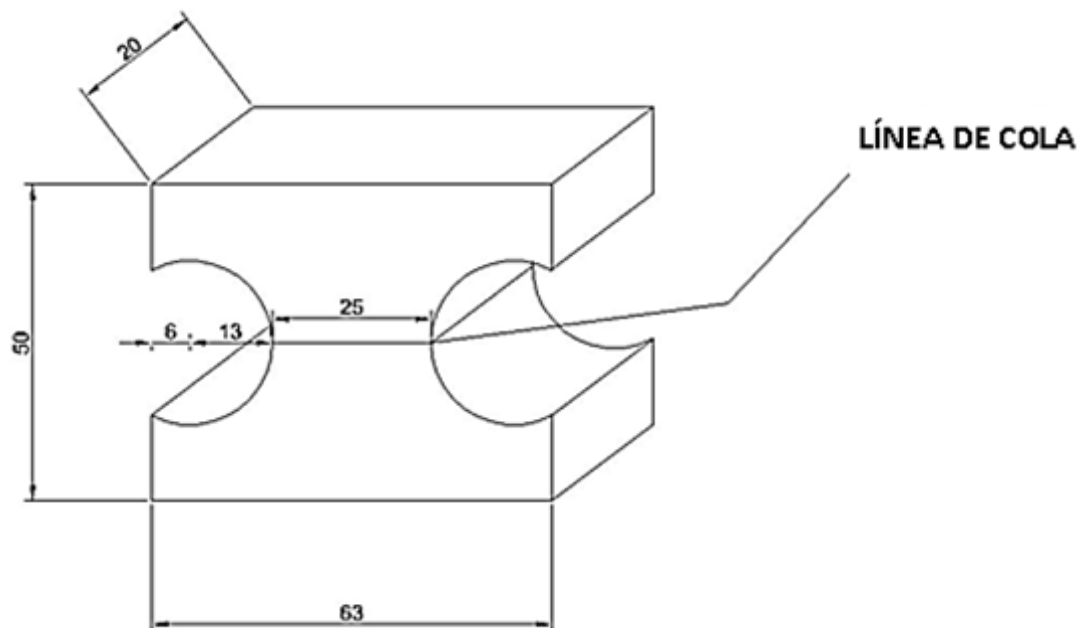


Figura 4. Medida en mm de probeta para ensayo mecánico de tracción perpendicular (Beraun, 2014).

3.5. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza con un factor, tanto para el ensayo de cizallamiento como para el ensayo de tracción perpendicular, con un nivel de confianza del 95%. Así mismo para establecer diferencia significativa entre los tratamientos y la madera sólida, se realizó la prueba de Tukey. Los estadísticos de tendencia central y de dispersión para la expresión de los resultados fueron la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación. También se hizo el análisis de regresión y correlación para determinar si existe alguna relación significativa entre las intensidades de presión y los esfuerzos mecánicos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se presenta los valores de resistencia promedio, desviación estándar y coeficiente de variación al cizallamiento de las 5 presiones en la madera encolada y la madera maciza en orientación radial y tangencial. Podemos observar que el coeficiente de variación en las presiones varían desde 15.85% a 26.44%, encontrándose la variabilidad dentro de lo normal de una población. El coeficiente de variación del testigo o madera maciza, en corte radial es de 5.60% y en el de corte tangencial es de 7.40%, no encontrándose variabilidad entre ellos. Asimismo se observa los promedios de la resistencia de la línea de cola a diferentes presiones 9 lb pie⁻² (86.75 kg cm⁻²), 11 lb pie⁻² (101.49 kg cm⁻²), 13 lb pie⁻² (103.47 kg cm⁻²), 15 lb pie⁻² (106.56 kg cm⁻²) y 17 lb pie⁻² (128.37 kg cm⁻²).

Tabla 3. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación a la resistencia al cizallamiento de la madera encolada y maciza de *C. spruceanum*.

N°	MADERA ENCOLADA					MADERA MACIZA	
	ESFUERZO MAXIMO PROMEDIO(kg cm ⁻²)					Radial	Tangencial
	9 lb pie ⁻²	11 lb pie ⁻²	13 lb pie ⁻²	15 lb pie ⁻²	17 lb pie ⁻²		
1	102.49	90.75	77.23	121.50	160.47	137.21	134.16
2	74.62	82.77	83.50	122.02	92.46	136.50	125.79
3	72.04	143.98	110.51	91.47	119.18	157.16	116.64
4	89.40	95.27	120.68	114.07	132.72	151.22	136.72
5	71.90	123.23	121.15	80.66	139.84	143.53	145.03
6	110.04	72.90	107.77	109.62	125.55	142.23	130.05
X	86.75	101.49	103.47	106.56	128.37	144.64	131.40
S	16.62	26.83	18.78	16.89	22.64	8.11	9.72
C.V. (%)	19.16	26.44	18.15	15.85	17.64	5.60	7.40

En la Tabla 4 se presenta los valores de resistencia promedio, desviación estándar y coeficiente de variación a la tracción perpendicular de las 5 presiones en la madera encolada y la madera maciza en orientación radial y tangencial. Podemos observar que el coeficiente de variación en las presiones varían desde 19.48% a 30.67%, encontrándose la variabilidad dentro de lo normal de una población. El coeficiente de variación del testigo o madera maciza, en corte radial es de 15.05% y en el de corte tangencial es de 9.90%, no encontrándose variabilidad entre ellos. Asimismo se observa los promedios de la resistencia de la línea de cola a diferentes presiones 9 lb pie⁻² (46.18 kg cm⁻²), 11 lb pie⁻² (49.54 kg cm⁻²), 13 lb pie⁻² (41.83 kg cm⁻²), 15 lb pie⁻² (47.24 kg cm⁻²) y 17 lb pie⁻² (37.25 kg cm⁻²).

Tabla 4. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación a la resistencia a la tracción perpendicular de la madera encolada y maciza de *C. spruceanum*.

N°	MADERA ENCOLADA					MADERA MACIZA	
	ESFUERZO MAXIMO PROMEDIO (kg cm ⁻²)					Radial	Tangencial
	9 lb pie ⁻²	11 lb pie ⁻²	13 lb pie ⁻²	15 lb pie ⁻²	17 lb pie ⁻²		
1	35.53	39.35	30.08	44.24	46.64	50.33	60.86
2	44.86	59.13	49.7	54.56	21.12	49.32	54.47
3	56.92	41.71	44.37	36.42	30.19	53.37	60.83
4	53.11	54.56	37.11	54.49	42.18	62.03	55.82
5	50.75	37.07	61.83	65.02	49.68	65.17	69.67
6	35.92	65.45	27.89	28.72	33.72	70.9	54.31
X	46.18	49.54	41.83	47.24	37.25	58.52	59.33
S	9.00	11.76	12.83	13.35	10.86	8.81	5.88
C.V %	19.48	23.73	30.67	28.27	29.15	15.05	9.90

Los tratamientos de los ensayos de cizallamiento y tracción perpendicular presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las presiones aplicadas en la madera encolada asimismo frente a la madera maciza (Tabla 5), lo cual coincide con Beraun (2014), quien encontró diferencias significativas entre los valores de resistencia para el factor intensidad de presión demostrando que las dos intensidades tienen influencia sobre la resistencia de las uniones encoladas. Estas diferencias manifiestan que los valores de resistencia de la línea de cola varían según la aplicación de la intensidad de presión, como lo indica Takahashi (2002), que si la unión es encolada se espera que sea tan resistente como la madera misma, y esto depende no solamente de la calidad de la cola, si no que intervienen otros importantes factores como las propiedades físicas y químicas de la madera; las condiciones de las superficies a encolarse; el espesor y la forma del extendido de la línea cola; la presión; la temperatura y tiempo de prensado y la forma del acondicionado luego del prensado.

En el ensayo de cizallamiento (Tabla 5), los resultados muestran que las presiones 17 lb pie⁻² con 128.37 kg cm⁻², 15 lb pie⁻² con 106.56 kg cm⁻² y 13 lb pie⁻² con 103.47 kg cm⁻² son los valores que más se aproximan al de la madera maciza los cuales son 144.64 kg cm⁻² en la orientación radial y 131.40 kg cm⁻² con respecto a la orientación tangencial.

En el ensayo de tracción perpendicular (Tabla 5), los resultados muestran que las presiones 15 lb pie⁻² con 47.24 kg cm⁻², 11 lb pie⁻² con 49.54 kg cm⁻² y 9 lb pie⁻² con 46.18 kg cm⁻² son los valores que más se aproximan al de la madera maciza los cuales son 58.52 kg cm⁻² en la orientación radial y 59.33 kg cm⁻² con respecto a la orientación tangencial.

Tabla 5. Comparación entre madera encolada y maciza en los ensayos de cizallamiento y tracción perpendicular en *C. spruceanum*.

Ensayos	MADERA ENCOLADA					MADERA MACIZA		ANOVA P-Value
	ESFUERZO MAXIMO PROMEDIO (kg cm ⁻²)					Radial	Tangencial	
	17 lb pie ⁻²	15 lb pie ⁻²	13 lb pie ⁻²	11 lb pie ⁻²	9 lb pie ⁻²			
Cizallamiento	128.37a	106.56a	103.47a	101.49b	86.75b	144.64c	131.40c	0.00028*
Tracción perpendicular	37.25a	47.24b	41.83a	49.54b	46.18b	58.52c	59.33c	0.008*

*Significativo al $P < 0.05$; letras diferentes en la misma fila = diferencias significativas

En la Tabla 6, se muestra una baja relación significativa entre las diferentes intensidades de presión y el esfuerzo máximo al cizallamiento, siendo su coeficiente de determinación 21.44%, el cual nos indica que la resistencia del cizallamiento depende en 21.44% de la intensidad de presión y el 78.56% depende de otros factores como el extendido o esparcimiento del adhesivo, presión al que es sometido las piezas de madera, temperatura, tiempo, contenido de humedad, densidad de la madera, condiciones de la superficie, etc, tal como lo mencionan los diferentes autores según la revisión de literatura consultada para la realización de este trabajo. Asimismo se muestra que no hay relación entre las diferentes intensidades de presión y el esfuerzo a la tracción perpendicular, siendo su coeficiente de determinación 5%.

Tabla 6. Relación entre los valores promedios del esfuerzo máximo al cizallamiento y a la tracción perpendicular en la madera encolada de *C. spruceanum*.

Parámetros	Ecuaciones de regresión	Coef. Determ.(r ² x100)	rc	rt	Signif. (p=0.05)
Cizallamiento vs presiones (lb pie ⁻²)	$y = 4.4155x + 47.925$	21.44	0.463	0.2685	S
Tracción perpendicular vs presiones (lb pie ⁻²)	$y = -0.1583x^2 + 3.0262x + 33.085$	5	0.224	0.2685	NS

S= Significativa; NS= No Significativa

V. CONCLUSIONES

- Las intensidades de presión 17 lb pie^{-2} , 15 lb pie^{-2} y 13 lb pie^{-2} mostraron mayor resistencia al esfuerzo al cizallamiento en la línea de cola.
- Las intensidades de presión 15 lb pie^{-2} , 11 lb pie^{-2} y 9 lb pie^{-2} mostraron mayor resistencia al esfuerzo mecánico de tracción perpendicular en la línea de cola.
- Se encontró diferencias significativas entre madera encolada y madera maciza.
- Se encontró una relación baja entre el ensayo de cizallamiento con las intensidades de presión.
- No se encontró relación entre el ensayo de tracción perpendicular con las intensidades de presión.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar ensayos de cizallamiento variando el gramaje de adhesivo dentro del parámetro encontrado de 17 lb pie^{-2} , 15 lb pie^{-2} y 13 lb pie^{-2} .
- Se recomienda ejecutar ensayos de tracción perpendicular variando el gramaje de adhesivo dentro del parámetro encontrado de 15 lb pie^{-2} , 11 lb pie^{-2} y 9 lb pie^{-2} .
- Se recomienda variar los tiempos de prensado y fraguado en la fabricación de tableros.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, A.; Vega, M. 2004. Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *Pinus radiata* D. Don. Bosque (Chile), Volumen 25 N° 3, 25-32 p.

Acevedo, M. 2006. Propiedades físicas y mecánicas: resistencia al cizallamiento de la línea de cola de *Tabebuia capitata*; Programa Académico de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria. La Molina, Lima, p.120.

AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, ES). 2009. Adhesivos .Como trabajan los adhesivos. 20-25p. Disponible en: www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3347_11672.pdf.

Beraun H. 2014. Efecto de dos intensidades de presión y dos gramaje de cola en la resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento y tracción perpendicular en uniones de cantos lisos en madera de *Calycophyllum spruceanum Benth* (Capirona). (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. Perú.

Bruna, R. 2006. Calidad superficial y resistencia mecánica de la línea de cola en blanks laminados de *Pinus radiata* D. Don. Tesis profesional en Ingenieros de Maderas. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 9-10 p.

Carmona, J.; Espinoza, F.; Bull, C. 1998. Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de *Pinus radiata* D. Don. Departamento de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, U. de Chile. 56p. Disponible en: Revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a6.pdf.

CONAF (Corporación Nacional Forestal) 2013. Guía Básica de Buenas Prácticas para Plantaciones Forestales de Pequeños y Medianos Propietarios. [Archivo PDF] Disponible en: http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1386687876guiabuenaspracticas_ppf.pdf.

CONICYT (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile) 2007. Guía para el modulo uniones, armados y montajes en obra; Aprendiendo ciencia y tecnología de la madera a través de la indagación. Disponible en: http://www.redmadera.cl/explora/libro/explora_madera_2-3.pdf.

Contreras, w; Ballester M; Owen de Contreras. 2005. La Madera. Productos Forestales. Industria Forestal. Conceptos y clasificación. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Vol. 1p54-56.

FONAM (Fondo Nacional del Ambiente) 2007. Guía Práctica para la Instalación y Manejo de Plantaciones Forestales. [Archivo PDF] Disponible en: <http://www.fonamperu.org/general/bosques/documentos/GuiaPracticaVersionfinal.pdf>.

Gallardo J. 1999. Orientación de los anillos de crecimiento y resistencia a flexión en uniones dentadas, en pino radiata. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Cs. Forestales. 34 p.

Marín, M. 2010. Diez mandamientos para aplicar adhesivos. Revista: Adhesivos para madera. Interquim S.A – Akzo Nobel. 3 y 4p. Disponible en: www.revista-mm.com/ediciones/rev59/10_mandamientos.pdf.

Oñoro, J. 2006. Uniones y Adhesivos. Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales. ETSI, Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: www.latindex.ppl.unam.mx/index.php/browse/.../26271?sortOrderId.

Poblete, H; Cuevas, H. 1998. Uniones endentadas y de canto con *Pinus radiata*: experiencias sobre su calidad. Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile. 84p.

Sibille, A. 2006. Guía de procesamiento industrial. Fabricación de muebles con maderas pocos conocidas. LKS, Lima-Perú. p. 50.

Takahashi, L. 2002. Resistencia al cizallamiento de la línea de cola, en quinilla colorada (*Humiriastrum excelsum* Duke). Ing. Forestal. Universidad Agraria. Facultad de Ciencias Forestales. Lima-Perú. 6 p.

ANEXO. Iconografía de la elaboración de los tableros



Foto 1. Evaluación de los árboles a ralear



Foto 2. Árboles raleados y segmentados



Foto 3. Medición de los diámetros de los segmentos



Foto 4. Almacenamiento de los segmentados



Foto 5. Tablillas aserradas



Foto 6. Aserrado de los segmentos



Foto 7. Secado artificial de las tablillas



Foto 8. Canteado de las tablillas secas



Foto 9. Cepillado de las tablillas secas



Foto 10. Selección de las tablillas a utilizar



Foto11. Refilado de los cantos



Foto 12. Pesado de las tablillas a encolar

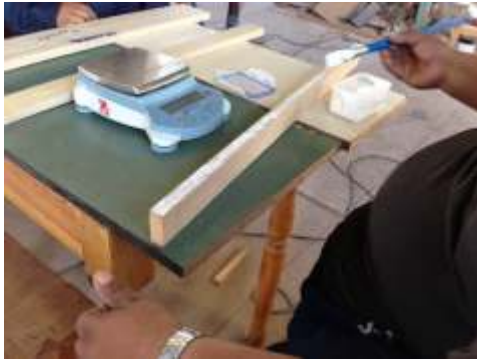


Foto 13. Encolado de los pares de tablillas



Foto 14. Prensado de los pares de tablillas



Foto 15. Pares de tablillas encoladas y fraguadas



Foto 16. Elaboración de probetas para ensayos mecánicos



Foto 17. Probetas para cizallamiento



Foto 18. Ensayo de cizallamiento



Foto 19. Probetas para tracción perpendicular



Foto 20. Ensayos de tracción perpendicular



Foto 21. Tableros armados



Foto 22. Despunte de los tableros



Foto 23. Realizando el acabado de los tableros



Foto 24. Tablero acabado