

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL



**RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE EN
UNIONES ESTRUCTURALES EMPERNADAS CON DIFERENTES
ÁNGULOS EN MADERA DE *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav.
(MASHONASTE), UCAYALI – PERÚ**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

INES MILAGROS, VELA ALVAREZ

Pucallpa, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N. °468/2024-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 9:15 horas del 24 de setiembre del 2024, de acuerdo a lo dispuesto por el reglamento de grados y títulos de la universidad nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado evaluador en los ambientes del auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que estuvo conformado por:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera	Presidente
Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas	Miembro
Dr. David León Moreno	Miembro

Para proceder la evaluación de la sustentación de tesis denominada “**RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE EN UNIONES ESTRUCTURALES EMPERNADAS CON DIFERENTES ÁNGULOS EN MADERA DE Clarisia racemosa; Ruiz & Pav. (MASHONASTE), UCAYALI – PERÚ**”, presentado por la **Bach. INES MILAGROS VELA ÁLVAREZ**, asesorado por la **Dra. MARÍA ANGÉLICA FLORES ROMAYNA**.

Finalizando la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante; en consecuencia, la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD** quedando expedido para el otorgamiento del título profesional de **INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas.

Siendo las 10:20 horas del mismo día se dio por finalizado el acto académico y firmando también los miembros en señal de conformidad

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera

Presidente

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Miembro

Dr. David León Moreno

Miembro

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

Tesis aprobada por el jurado calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali como requisito para obtener el título profesional de Ingeniero Forestal, el mismo que estuvo conformado por las siguientes personas:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera



.....
Presidente

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas



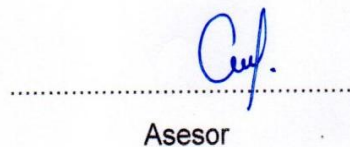
.....
Miembro

Dr. David León Moreno



.....
Miembro

Dra. María Angélica Flores Romayna



.....
Asesor

Bach . Ines Milagros Vela Alvarez



.....
Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

N° V/0195-2024.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

“RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE EN UNIONES ESTRUCTURALES EMPERNADAS CON DIFERENTES ÁNGULOS EN MADERA DE *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav. (MASHONASTE), UCAYALI – PERÚ”

Autor(es) : VELA ALVAREZ, MILAGROS
Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela : ING. FORESTAL
Asesor(a) : Dra. FLORES ROMAYNA, MARÍA ANGÉLICA

Presenta un **porcentaje de similitud de 2%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO, De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud**, procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 03/05/2024



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, INES MILAGROS UELA AIUAPEZ

Autor de la tesis titulada : RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE EN UNIONES ESTRUCTURALES EMPERNADAS CON DIFERENTES ANGULOS EN MADERA DE CLARISIA PACEMOSA; RUIZ S. PAU. (HASHONASTE), UCAYALI - PERÚ

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Dra. MARIA ANGÉLICA FLORES ROMAYNA

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL

TOTAL

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 28 / 10 / 2024

Email: Uel25mila@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 921252103

DNI: 73368595

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A mi madre, por su amor incondicional y por creer en mí desde el primer día. Por su sacrificio y esfuerzo, por su apoyo constante ante las adversidades. Este logro es un triunfo de las dos.

A mi hermana por su amor incondicional por su apoyo durante mi crecimiento personal y profesional. También se la dedico a Nicole Mariana del Aguila Silva por su apoyo y su amor en este largo camino, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, por escucharme y enseñarme que siempre se puede todo y por darme sabios consejos.

A Dios por cuidarme y brindarme la inteligencia para poder culminar mis estudios, y a todos aquellos que han sido parte de mi formación académica docentes, asesores y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al ser Supremo que es Dios, quién es el origen de sabiduría, inteligencia y de vida, agradezco a los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali por las excelentes e importantes enseñanzas compartidas.

Al Dr. Pedro Campos Aparicio, por su importante apoyo en la culminación de criterios para el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, miembro del jurado de esta tesis, por su apoyo brindado en el afianzamiento y meticulosa revisión de la presente.

Al Dr. David León Moreno, por su importante soporte en el perfeccionamiento del trabajo de investigación en la redacción de la tesis.

A la Dra., María Angélica Flores Romayna, asesora de esta tesis, por su apoyo constante brindado en la consolidación y minuciosa revisión de la presente.

Al Ing. Noé Cristian Fachin Vargas por la obtención e interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio de tecnología de la madera.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Uniones Mecánicas o Mixtas en Maderas.....	9
2.2.2. Descripción de Elementos de Unión.....	10
2.2.3. Uniones Estructurales de Madera Empernadas.....	11
2.2.4. Descripción del Perno.....	11
2.2.5. Dimensiones de los Pernos.....	12
2.2.6. Uniones Empernadas.....	16
2.2.7. La Madera de <i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav. (Mashonaste).....	20
2.3. Definición de Términos Básicos.....	23
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.1. Método de Investigación.....	24
3.2. Población y Muestra.....	24
3.2.1. Población.....	24
3.2.2. Muestra.....	24
3.3. Procedimiento de Recolección de Datos.....	25

3.3.1 Localización de la Madera.....	25
3.3.2 Transporte de la Madera y Acondicionamiento.....	25
3.3.3 Re-aserrío y Secado de la Madera.....	25
3.3.4 Preparación de las Probetas.....	25
3.3.5 Ensayo de Cizallamiento.....	29
3.4. Técnicas de Instrumentos para Recolección de Datos.....	30
3.4.1. Técnicas.....	30
3.4.2. Instrumentos.....	30
3.5. Procesamientos de Datos.....	31
3.6. Tratamientos de Datos.....	31
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Resistencia al Cizallamiento Simple en Uniones Empernadas en Madera de <i>Clarisia Racemosa</i> ; Ruiz & Pav (Mashonaste) con Ángulos de 0°, 45° y 90°.....	32
4.2. Resistencia al Cizallamiento Doble en Uniones Empernadas en Madera de <i>Clarisia Racemosa</i> ; Ruiz & Pav (Mashonaste) con Ángulos de 0°, 45° y 90°.....	36
4.3. Relación entre el grado de inclinación de las fibras y la carga máxima en cizallamiento simple y doble de uniones empernadas.....	39
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1. Conclusiones.....	43
5.2. Recomendaciones.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	46
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia al cizallamiento doble en uniones empernadas de siete especies forestales.....	8
Tabla 2. Diámetros de pernos.....	12
Tabla 3. Distancias y separaciones mínimas de pernos.....	13
Tabla 4. Valores de la carga máxima al cizallamiento simple en uniones empernadas con ángulos de 0°,45° y 90° en madera de Clarisia Oracemosa; Ruiz & Pav.....	32
Tabla 5. Análisis de varianza de la carga máxima del cizallamiento simple en uniones empernadas en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.....	33
Tabla 6. Prueba Tukey de cizallamiento simple en uniones empernadas con tres tipos de ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.....	34
Tabla 7. Valores de la carga máxima al cizallamiento doble en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia Oracemosa; Ruiz & Pav.....	36
Tabla 8. Análisis de varianza de la carga máxima del cizallamiento doble en uniones empernadas en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.....	37
Tabla 9. Prueba Tukey de cizallamiento doble en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.....	38
Tabla 10. Análisis de correlación y regresión entre el grado de inclinación de las uniones y carga máxima.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción de un perno	12
Figura 2. Consideraciones constructivas con pernos.....	14
Figura 3. Cizallamiento simple.....	17
Figura 4. Unión apernada a doble cizallamiento. cargas paralelas al grano en todos los elementos.....	18
Figura 5. Unión apernada a doble cizallamiento con carga perpendicular al grano.....	19
Figura 6. Uniones apernadas, con cargas inclinadas con relación al grano.....	20
Figura 7. Medidas de las piezas de madera de las probetas para cizallamiento simple.....	26
Figura 8. Ensamblado de ambas piezas con unión empernada para cizallamiento simple con ángulo de 0°	26
Figura 9. Medidas de las piezas de madera de probetas para cizallamiento doble.....	27
Figura 10. Ensamblaje de probetas de cizallamiento doble con ángulo de 0° con cargas paralelas al grano en todos los elementos (carga P).....	28
Figura 11. Modelo de probeta para cizallamiento doble empernado con inclinación de 90°	28
Figura 12. Ensamblaje de probetas de cizallamiento doble con ángulo de 90° , con cargas perpendiculares al grano en los elementos laterales y paralela al grano en el elemento central	29
Figura 13. Uniones empernadas, con cargas inclinadas con relación al grano con ángulo de 45°	29
Figura 14. Carga promedio del cizallamiento simple en uniones empernadas con un ángulo de 0° , 45° y 90°	32
Figura 15. Carga promedio del cizallamiento doble en uniones empernadas con un ángulo de 0° , 45° y 90°	37
Figura 16. Análisis de correlación y regresión entre el grado de inclinación de las uniones estructurales y carga máxima de cizallamiento simple y doble.....	40
Figura 17. Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano o de 90°	42

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la resistencia al cizallamiento simple y doble paralelo de la madera de *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav. (Mashonaste) unidas con pernos y con diferentes ángulos. La madera se obtuvo de la empresa maderera Inversiones DELCIMAR SAC, ubicada en el distrito de Puerto Inca, departamento de Huánuco, se trabajó con 60 probetas con uniones empernadas, diseñadas para cizallamiento paralelo simple y doble con tres ángulos. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali. La investigación fue experimental bajo las especificaciones de las normas técnicas ASTM-1761-74, para realizar la fabricación y los ensayos de cizallamiento. Los resultados indican que el cizallamiento simple se encontró que las uniones empernadas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), ensambladas con diferentes ángulos que forman las fibras de las piezas de madera, difieren de una manera altamente significativa, soportando cargas diferentes, la unión empernada con ángulo 0° soportó 2342 kg-f, con ángulo de 45° soportó 1711 kg-f y con ángulo de 90° soportó 1362 kg-f. Con relación al cizallamiento doble se encontró que las uniones empernadas ensambladas con diferentes ángulos, difieren de una manera altamente significativa, soportando cargas diferentes, la unión empernada con ángulo 0° soportó 2908 kg-f, con ángulo de 45° soportó 1807 kg-f y con ángulo de 90° soportó 707 kg-f.

Palabras clave: Cizallamiento simple, cizallamiento doble, uniones empernadas, carga máxima.

ABSTRACT

The objective of the research work was to determine the resistance to single and double parallel shearing of *Clarisia racemosa* wood; Ruiz & Pav. (Mashonaste) joined with bolts and with different angles. The wood was obtained from the logging company Inversiones DELCIMAR SAC, located in the district of Puerto Inca, department of Huánuco, working with 60 specimens with bolted joints, designed for single and double parallel shearing with three angles. The tests were carried out in the Wood Technology Laboratory of the Faculty of Forestry and Environmental Sciences of the National University of Ucayali. The research was experimental under the specifications of the ASTM-1761-74 technical standards, to carry out the manufacturing and shear tests. The results indicate that simple shearing was found to make bolted joints of wood from *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), assembled with different angles that form the fibers of the wooden pieces, differ in a highly significant way, supporting different loads, the bolted joint with a 0° angle supported 2342 kg-f, with a 45° angle it supported 1711 kg -f and with a 90° angle it supports 1362 kg-f. In relation to double shear, it was found that bolted joints assembled with different angles differ in a highly significant way, supporting different loads, the bolted joint with 0° angle supported 2908 kg-f, with 45° angle it supported 1807 kg-f and with a 90° angle it supports 707 kg-f.

Keywords: Single shear, double shear, bolted joints, maximum load.

INTRODUCCIÓN

La madera ha sido uno de los materiales más utilizados por el ser humano para construir edificios desde los comienzos de la historia. Aunque el uso de acero, hormigón o hierro haya aportado significativos avances a la construcción, la madera nunca ha perdido su popularidad. A pesar de esta popularidad, en los países de nuestra región es común asociar la construcción de vivienda en madera con proyectos de baja calidad, escaso presupuesto o pequeño tamaño, este estereotipo no es correcto. En las últimas décadas la industria de la madera ha evolucionado gracias al desarrollo de nuevas tecnologías que permitirían la generalización del uso de este material en la construcción. Por ejemplo, entre los años 2008 y 2020 se construyeron alrededor del mundo más de 50 edificios de madera con alturas entre 7 y 24 pisos (Peciña-López, 2022).

En la actualidad la utilización de la madera en la construcción ha cambiado de manera creciente y de importancia mundial. Son diversos los motivos que han llevado a la madera a ser el material preferido en el diseño constructivo de vanguardia, ya sea por sus características como material estructural eficiente y sostenible, al cual se le reconocen sus ventajas y posibilidades; a la normalización en los procesos de diseño y al cálculo o a los avances tecnológicos en la fabricación y montaje, entre otros. Cada vez se demanda más madera, más proyectos con madera y más formación sobre construcción con madera. (Instituto Forestal 2021).

Es por ello que el sector inmobiliario peruano precisa de materiales eficientes y sostenibles, además de potenciar la industrialización. La construcción con madera es el futuro inminente de la industria y requiere colaboración pública, privada y académica para cerrar la brecha tecnológica y generar normas para contar con madera estructural estandarizada, además de apoyar la formación técnica de operarios y profesionales activos, desempleados y recién titulados en sistemas constructivos en madera.

La investigación se divide en cinco capítulos: en el Capítulo I se detalla la descripción del problema que da origen a la investigación, el Capítulo II presenta la revisión bibliográfica relacionado con el problema de investigación, el Capítulo III describe la metodología utilizada en la investigación, en el Capítulo IV se presentan los resultados alcanzados en la investigación y se realiza la discusión explicando los resultados obtenidos, y finalmente el Capítulo V presentan las conclusiones con los principales aportes de la investigación y se realiza las recomendaciones para mejorar las futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBELMA

1.1. Descripción del Problema

OIMT (2014) establece que al iniciar del año 2000 la comercialización de maderas tropicales se ha de representar con especies provenientes de bosques en aprovechamiento, este pacto firmado por Perú está en pleno creencia de renegociación y se espera que sea renovado, asimismo las maderas de los bosques templados. Dentro de saliente contexto está en enseñanza el Forest Stewardship Council (Congreso para la Explotación de Bosques), el cual pretende prestar un sistema de testimonio sobre la utilización de los bosques.

Valenzuela (2008) menciona que uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad y en especial nuestra población es la falta de vivienda. Esto resulta de un desequilibrio entre el crecimiento de la población y la tasa de construcción; a esto se suman problemas actuales como los altos costos de materiales, la inflación, el desempleo, etc. Es bien sabido que el amplio y diverso recurso forestal proporciona un excelente material para la construcción, pero su uso adecuado requiere un conocimiento de este material.

Valenzuela (2008) Señala que el uso de la madera para la construcción es muy común en vivienda debido a la alta oferta y demanda esto significa que el estudio de este tipo de material tiene mucha evolución, es decir mayor industrialización en nuestro país. Esto lleva a que a la hora de elaborar el diseño de estructuras de madera se realicen cálculos básicos solo para elementos de madera, y no para uniones, lo que se debe a una mala interpretación de las tablas de valores y su engorroso uso por lo que termina aplicándose empíricamente.

Es importante comprender las propiedades de la madera y el método correcto de uso en el desarrollo de estructuras de madera, las mayores dificultades surgen en el diseño y fabricación de juntas estructurales, pudiéndose utilizar elementos metálicos como clavos, pernos, tornillos u otros elementos como adhesivos. Estos y otros factores ayudan a solucionar el problema, pero es posible crear uniones o nudos de elementos sin utilizar ningún material más que la propia madera, lo que llamamos uniones madera-madera; en las estructuras de madera, el acoplamiento es una de las partes en las que se debe ser muy cuidadoso durante el diseño y fabricación; utilizando para las uniones, tornillos, placas, etc (Valenzuela, 2008). La investigación plantea resolver los siguientes problemas:

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles son los valores de resistencia al cizallamiento simple y doble en uniones estructurales empernadas con diferentes ángulos en madera de *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav. (Mashonaste)?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores de resistencia al cizallamiento simple en uniones estructurales empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste)?
- ¿Cuáles son los valores de resistencia al cizallamiento doble en uniones estructurales empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste)?
- ¿Cuál es la relación entre las variables, ángulo de inclinación de las fibras de las piezas de madera y la resistencia al cizallamiento simple y doble de las uniones empernadas?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar los valores de la resistencia al cizallamiento simple y doble en uniones estructurales empernadas con diferentes ángulos en madera de *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav. (Mashonaste) de la zona de Puerto Inca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los valores de resistencia al cizallamiento simple en uniones estructurales empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) de la zona de Puerto Inca.
- Determinar los valores de resistencia al cizallamiento doble en uniones estructurales empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) de la zona de Puerto Inca.
- Determinar la relación entre las variables, ángulo de inclinación de las fibras de las piezas de madera y la resistencia al cizallamiento simple y doble de las uniones empernadas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Veloso, Jassy (2008) en su tesis denominado "Estudio del Comportamiento Estructural de Uniones a Escala Real de Madera Pino Radiata con Pernos de Acero, Caso Específico de Uniones de Cizalle Doble Sometidas a Compresión Axial" en la Universidad de Bio de Chile, utilizado pernos de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{5}{8}$ " en número de 1, y 6 (3 pernos por hilera), 8 pernos (4 por hilera) y de 10 pernos (5 pernos por hilera) respectivamente, realizó ensayos de cizallamiento doble obteniendo los siguientes resultados:

Uniones con pernos de $\frac{1}{2}$ "

a) *Uniones con 1 pernos de $\frac{1}{2}$ "*

Los ensayos experimentales consistieron en la aplicación de una carga axial de compresión sobre el miembro central de la unión de cizalle doble. Para el caso de las probetas de 1 perno de $\frac{1}{2}$ ", se presentó un buen comportamiento del conjunto madera-perno, no visualizando un giro del miembro central, que pudo producirse por excentricidad accidental de la carga en el transcurso del ensayo. Este modo de falla fue producto de la alta resistencia del perno de $\frac{1}{2}$ " y la heterogeneidad de la madera, ya que esta presentaba distintas densidades y contenidos de humedad en cada pieza. La capacidad de carga varió desde 858 a 1668 kg-f.

b) *Uniones con 3 pernos de $\frac{1}{2}$ " por hilera*

Para el caso de uniones con 3 pernos por hilera, el aplastamiento de la madera en el miembro central no fue tan exagerado como en el tratamiento de uniones de 1 perno, pero en este caso, la carga se distribuyó de una manera más

equitativa en cada uno de los medios de unión. La capacidad de carga varió desde 11313 a 17603 kg-f.

c) *Uniones con 4 pernos de ½" por hilera.*

El comportamiento de las uniones de 5 pernos por hilera fue consecuente con los casos antes mencionados. La capacidad de carga varió desde 17472 a 20854 kg-f.

d) *Uniones con 5 pernos de ½" por hilera*

En el caso de las uniones con 4 pernos por hilera, al igual que el caso anterior, se produjo aplastamiento en el miembro central, pero de forma mucho más sutil. La capacidad de carga varió desde 12829 a 17629 kg-f.

Para todas las uniones con perno de ½", el modo de falla o de fluencia fue el I, este comportamiento se produjo por la diferencia en la resistencia de los materiales; la capacidad al aplastamiento de la madera y la capacidad al corte del perno, que en este caso era de alta resistencia con un acero A325, con $f_y = 8370$ kgf/cm².

Para el caso de pernos las cargas se traspasan puntualmente a través de un efecto de aplastamiento sobre la superficie de contacto entre cada medio de unión y la madera. La geometría de la sección transversal es circular, lo que determina distribuciones de aplastamiento variables orientadas radialmente, en este caso, las cargas se descomponen paralela y perpendicularmente a la fibra.

Cuando la dirección de la fuerza traspasada coincide con la dirección de la fibra, se generan sobre la madera tensiones de empujes lateral, que están orientadas hacia cada extremo, como componentes de fuerza horizontal H, y considerando la poca capacidad resistente de la madera ante solicitaciones normales a la fibra las tensiones pueden conducir a fallas por hendimiento, simultáneamente se producen tensiones de cizalle paralelo a la fibra que

comprometen las superficies paralelas, en la práctica se ha probado que la falla se produce por este aspecto.

Uniones con perno de 5/8"

Asimismo. Veloso, Jassy (2008) menciona que al igual que el caso de uniones con perno de 1/2", la falla se caracteriza por la generación de rótulas plásticas en el perno, en la zona de contacto de las piezas laterales con la medular y el aplastamiento de la madera en el miembro central o lateral. La calidad del medio de unión que se utilizó para estos especímenes fue un perno corriente.

a) Uniones con 1 pernos de 5/8"

Para el caso específico de las uniones con un perno, se presentó claramente el efecto de la carga sobre el medio de unión, se generaron rótulas plásticas en la zona de contacto de las piezas de madera, como también aplastamiento de la madera del miembro central, pero de forma muy sutil. Este efecto se produjo por el efecto de la carga axial sobre la unión, la carga se distribuyó en ambos materiales. La capacidad de carga varió desde 3207 a 4240 kg-f.

b) Uniones con 3 pernos de 5/8" por hilera

Para las uniones con 3 pernos de 5/8" por hilera, cabe mencionar que el aplastamiento de la madera en el miembro central de la unión es mínimo, como en los miembros laterales nulo. Se presentaron rótulas plásticas en los medios de unión, pero la deformación sufrida por estos fue menor que el caso anterior. La capacidad de carga varió desde 14060 a 24305 kg-f.

c) Uniones con 4 pernos de 5/8" por hilera

Las Probetas de 4 pernos por hilera tuvieron un comportamiento totalmente distinto a las anteriores, estas son mucho más esbeltas que otros ejemplares, que en este caso se comportan como un apoyo móvil, la unión comenzó a pandearse

en la zona libre de medios de unión. La capacidad de carga varió desde 11926 a 19730 kg-f.

d) Uniones con 5 pernos de 5/8" por hilera

Al igual que las probetas de 4 pernos por hilera, sufrieron un bajo porcentaje de pandeo, pero esta vez producido por la presencia de nudos en la madera y no por la condición de apoyo de la unión. Los especímenes desarrollaron completamente su capacidad, por lo que se cargaron más allá del límite plástico, llegando finalmente a la rotura. La capacidad de carga varió desde 21938 a 32509 kg-f.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Valenzuela Wilder. (2008) en la universidad Nacional Agraria de la Molina, Departamento de Industrias Forestales de la ciudad de Lima, realizó una investigación sobre "Valores de diseño en uniones empernadas a doble cizallamiento de siete especies forestales aptas para la construcción", donde el objetivo general fue determinar valores de diseño para uniones estructurales empernadas con elementos actuando a doble cizallamiento, cargas paralela y perpendicular, en madera en condición húmeda, de las siguientes especies: almendro (*Caryocar coccineum* Pilger), cachimbo (*Cariniana domesticata* Mart.), chimicua (*Pseudolmedia laevis* Marcb), diablo fuerte (*Podocarpus oleifolius* D. Don in Lambert), manchinga (*Brosimum uleanum* Mildbr), pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart) y tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke), las pruebas se efectuaron siguiendo normas ASTM D1 761-74. La evaluación se efectuó comparando los resultados obtenidos con rangos de clasificación de uniones empernadas en maderas peruanas y con los valores de uniones del pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). Las especies estudiadas tienen buena aptitud de uso en uniones empernadas resaltando el tornillo y el cachimbo.

Al respecto Valenzuela Wilder (2008) determino la resistencia de las uniones empernadas con ángulo 0° (paralelo) y 90° (perpendicular), utilizando un perno de ½” de diámetro y 4” de longitud en siete maderas peruanas, que se detalla en la siguiente tabla

Tabla 1

Resistencia al cizallamiento doble en uniones empernadas de siete especies forestales

Especies	Cizallamiento paralelo (kg-f/perno)	Cizallamiento perpendicular (kg-f/perno)
Almendra	1985	434
Cachimbo rojo	2273	428
Chimicua	2718	624
Diablo fuerte	1788	429
Manchinga	2136	625
Pumaquiro	3681	694
Tornillo	2172	493

Alcántara Fabio (2019) en la tesis denominada Uniones estructurales con tirafones en madera copaiba (*copaifera officinalis*) que se realizó en la Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO de Trujillo seleccionó al tirafón y la especie Copaiba, por sus propiedades mecánicas y accesible precio en el mercado peruano, con el sólido objetivo de determinar las propiedades mecánicas de las uniones con tirafones en esta madera (*copaifera officinalis*). En primer lugar se desarrollaron los ensayos de resistencia al cizallamiento de las uniones (100) y de extracción de tirafones (60) bajo los lineamientos de la normativa ASTM D-1761, NcH 1198, obteniendo como resultados los valores de la carga y deformación máxima, carga y deformación al límite proporcional y carga de diseño para cada una de las uniones diseñadas. En efecto se obtuvieron conclusiones que califican a la unión tirafón-copaiba como muy recomendable estructuralmente para su uso en la construcción.

Lope Jhony (2018) en su estudio efectuada en la Universidad Nacional de Ingeniería, determino la carga máxima en cizallamiento simple paralelo al grano en uniones empernadas utilizando madera de cumala cuya densidad básica fue de 0.38 g/cm³, encontrando una carga de 687.35 kg, utilizando perno de ¼” de diámetro.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1 Uniones Mecánicas o Mixtas en Maderas

García John y Moreno Sonia (2021) manifiestan que la madera por su naturaleza debe materializar o “cimentar” sus conexiones y sus uniones o empalmes, pero, cuando se utiliza como elemento prefabricado, la madera es dimensionada en las secciones deseadas y luego es conectada o ensamblada con los otros elementos que componen una estructura.

Desde la unión mediante amarras, y empleando sistemas de articulación o de trozos de madera o amarres ya que la madera no puede materializar la conexión de los distintos elementos o miembros de la estructura o del revestimiento.

Las uniones mecánicas en estructuras de madera son el elemento responsable de acoplar las piezas de la estructura y transmitir los esfuerzos entre estas son los denominados herrajes, es decir, objetos metálicos que unen las piezas de madera entre sí. Se clasifican según los siguientes criterios:

1. Por la forma geométrica de las piezas de hierro o acero que unen los elementos.
2. Por su función.
3. Por su fabricación (perfiles, soldadura y forjados entre otros)

Las uniones a tope se refuerzan mediante elementos externos a las maderas que componen la unión y normalmente son visibles al exterior de las piezas unidas. A pesar de existir cierto nivel de normalización para dichas uniones

mecánicas, la necesidad o ingenio del fabricante de la estructura juega un papel importante.

2.2.2. Descripción de Elementos de Unión

García John y Moreno Sonia (2021) clasifican los elementos de unión de la siguiente manera:

1. **Puntuales o de clavija:** el esfuerzo se transmite mediante flexión del elemento metálico. Se utilizan para unir piezas pequeñas de madera, así como para fijar otros conectores.
2. **Lineales y de superficie:** son palastros o chapas que se utilizan para multitud de diferentes encuentros entre las piezas de una estructura por lo que existe una gran variedad de este tipo de herrajes.
3. **De disco y anillo:** son herrajes con forma de disco o anillo que se utilizan como refuerzo para otros conectores, generalmente de tipo perno.
4. **Conectores:** anillos, placas, placas clavadas, placas perforadas y placas dentadas.
5. **De fijación:** clavos, grapas, tirafondos, pasadores, pernos y presillas.
6. **A medida:** aquellos herrajes que se diseñan para una situación particular por lo que, en consecuencia, son más caros.
7. **Prefabricados:** aquellos herrajes que se adquieren bajo catálogo, por lo que es necesario adaptar la estructura al tipo de unión.

Además de lo anterior encontramos:

- **Uniones encoladas:** la unión de los elementos de la estructura de madera es una unión química, empleándose pegantes y adhesivos especiales que fijen las piezas de los nudos de la estructura.

- **Cartelas:** se superpone un tablero de madera sobre las piezas de un nudo uniéndose a los elementos mediante fijaciones o adhesivos.
- **Uniones mecanizadas:** son uniones que han sido elaboradas con máquinas herramientas.

Los elementos mecánicos de unión son aquellos que, al quedar solicitados a esfuerzos cortantes, admiten desplazamientos relativos entre las piezas conectadas que se originan por las deformaciones por aplastamiento que sufre la madera en la zona de contacto entre la madera y el medio de unión y adicionalmente, como en el caso de medios cilíndricos, por las deformaciones por flexión de los medios cilíndricos.

2.2.3. Uniones Estructurales de Madera Empernadas

Isostatika (2022) define a los pernos como elementos de fijación entre piezas de madera maciza y/o madera laminada encolada. Utilizando diámetros adecuados, resultan uniones aptas para cargas pequeñas o grandes. Además, permiten la conexión entre piezas de madera a través de chapas metálicas, tanto si están situadas en el interior como en el exterior.

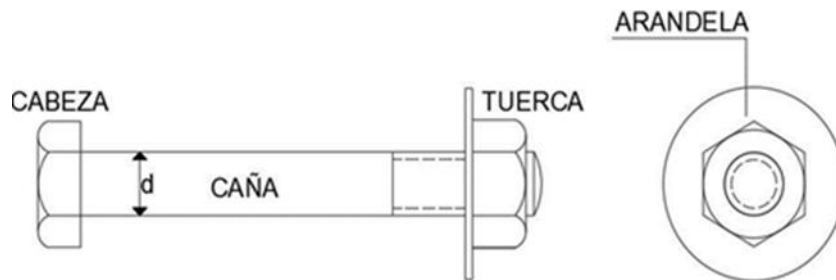
2.2.4. Descripción del Perno

Ibañez, I. & Moreno, S. (2022), señala que los pernos son elementos de fijación constituidos por **barras metálicas** de sección circular con **cabeza**, hexagonal o cuadrada, en un extremo y **rosca y tuerca** en el otro.

Se introducen en agujeros cuyo diámetro puede llegar a tener una holgura de hasta 1mm para facilitar su colocación. Bajo la cabeza y la tuerca de los pernos deberán colocarse arandelas con un diámetro o lado (si es cuadrada) de al menos 3 veces el diámetro del perno y un espesor de 0,3 veces el mismo

Figura 1

Descripción de un perno



Nota. Tomado de *Uniones de estructuras de madera: pernos y clavos* por Ibañez, I. & Moreno, S., 2022, *Isostática* (<https://isostatika.com/blog/uniones-estructura-madera-pernos/>).

2.2.5. Dimensiones de los Pernos

Isostatika (2022) pone de manifiesto que según la norma UNE-EN 14592, los pernos deben tener un diámetro mínimo de 6mm y máximo de 30mm. Normalmente, los diámetros más comunes son: 10, 12, 16, 20 y 24mm. La norma DIN 1052 es todavía más exigente en las dimensiones de la arandela cuando queda sobre la superficie de la madera, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 2

Diámetros de pernos.

Diámetro perno mm	Diámetro arandela mm	Espesor arandela mm	Diámetro agujero mm
12	58	6	14
16	68	6	18
20	80	8	22
22	92	8	25
24	105	8	27

Nota. Esta tabla se muestra las dimensiones de los pernos, arandelas y agujeros que se especifica en la norma DIN 1052. Tomado de *Uniones de estructuras de madera: pernos y clavos* por Ibañez, I. & Moreno, S., 2022, *Isostática* (<https://isostatika.com/blog/uniones-estructura-madera-pernos/>).

Tabla 3

Distancias y separaciones mínimas de pernos

Tabla 8.4 Uniones con pernos. Separaciones y distancias mínimas.		
Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,1}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80\text{mm})$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
$a_{4,1}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \sin \alpha) d; 3d)$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

Nota. Tomado de *Uniones de estructuras de madera: pernos y clavos* por Ibañez, I. y Moreno, S., 2022.

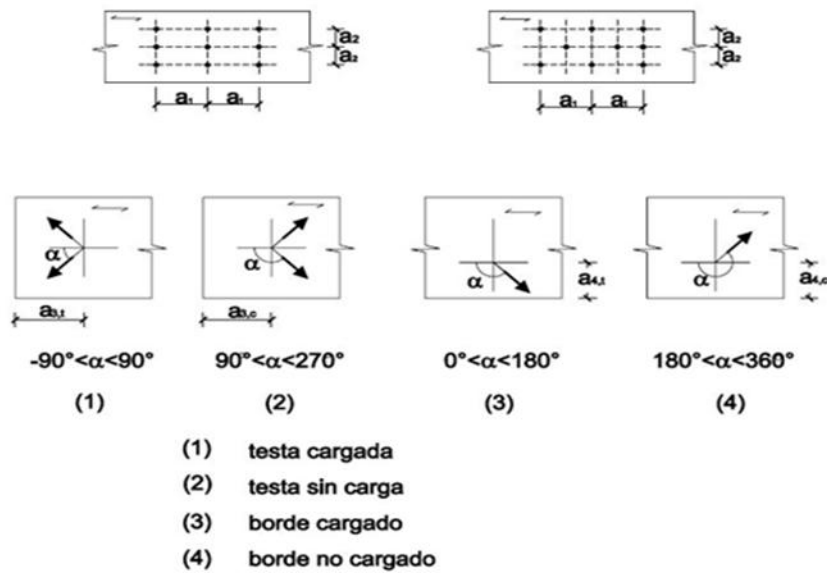
Ibañez, I. y Moreno, S. (2022) mencionan también algunas consideraciones constructivas con pernos, que señalan a continuación:

- Los agujeros en la madera para alojar los pernos deben tener un diámetro no mayor de 1 mm que el diámetro del perno. Los agujeros en las placas de acero deben tener un diámetro no mayor de 2 mm o de 0,1d (el que resulte mayor) que el diámetro del perno.
- Las arandelas bajo la cabeza del perno y bajo la tuerca deben tener un lado (si son cuadradas) o un diámetro mínimo igual a 3d y un espesor mínimo de 0,3d (d es el diámetro del perno). La arandela debe tener pleno contacto con la superficie de la pieza.
- Los pernos y tirafondos deben apretarse de tal forma que las piezas queden firmemente unidas, y deben volver a apretarse si fuera necesario

cuando la madera alcance su humedad de equilibrio higroscópico, siempre que sea requerido para garantizar la capacidad de carga o rigidez de la estructura.

Figura 2

Consideraciones constructivas con pernos



Nota. Tomado de *Uniones de estructuras de madera: pernos y clavos* por Ibañez, I. y Moreno, S., 2022.

Hansen, (2015), encontró que la orientación de la fibra con respecto a la dirección longitudinal del fuste tiene un efecto notable en el comportamiento de los elementos estructurales, La inclinación del grano puede tener dos causas principales: tiene una línea fija y sigue una forma de espiral según la pendiente longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado muestran grano inclinado.

Bodig y Goodman (1973) señala que la resistencia al corte en el sentido paralelo a la fibra varía entre 25 y 200 kg/cm², este valor aumenta con la densidad, aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión, también depende mucho del tamaño de los elementos. La N.T.P. E.010 especifica la forma de realizar el ensayo y las dimensiones de la probeta a ensayar.

Bodig y Goodman (1973) menciona que la resistencia a la flexión de la madera es la capacidad portante que esta da, cuando este elemento está sometido a fuerzas transversales. Dichas sollicitaciones, combinan el comportamiento simultáneo de tracción, compresión y corte de la madera, las fibras más alejadas de la neutra son las que están sometidas a los máximos esfuerzos. Como la resistencia a la compresión es menor que a la tensión, la falla se inicia en la zona de compresión, lo que hace que se incrementen las deformaciones en la zona comprimida, y que el eje neutro se desplace a la zona de tracción, aumentando rápidamente las deformaciones totales hasta que la pieza falla por tensión. Durante el ensayo normalizado para determinar la resistencia a flexión de la madera se debe someter al elemento a una carga puntual perpendicular al medio de este y que se encuentre simplemente apoyada en ambos extremos.

Valenzuela Wilder. (1975) señala que la capacidad de carga de las uniones estructurales normalmente está gobernada por la resistencia de la madera, o del elemento de unión y de la combinación de ambos. Independiente del tipo de unión, existen factores que afectan en general a todos ellos, estos factores son duración de carga, condición de servicio, factor de tratamiento, factor de forma o de configuración, factor de grano, factor de espesor, factor de capacidad y penetración del elemento de unión. Las uniones o encuentros de los elementos de una construcción normalmente están fabricados con clavos, pernos, tirafones u otros; sin embargo, también pueden construirse sin emplear ningún elemento extraño. Este es el caso de las uniones madera-madera. El tipo más conocido es empleado en Europa y en Estados Unidos, empleando madera redonda, pero que lamentablemente, no se pudo conseguir información técnica, específicamente valores de resistencia. También existe un tipo de unión madera-madera empleado por una compañía peruana, básicamente consiste en blocks de madera de 2" 3/8 x 4" x 12" con una especie de machihembrado en su superficie superior (macho) e

inferior (hembra) y en cada extremo que le permiten el ensamblaje; no se reportan valores de resistencia.

2.2.6. Uniones Empernadas

Cáceres Jhon, Mamani Beimar y Rivero Wara (2018) precisan que las uniones empernadas son uniones desmontables de tipo puntual. En el funcionamiento de una unión apernada se producen tres fases distintas en la transmisión de fuerzas:

En un comienzo, y especialmente para pernos fuertemente apretados la unión trabaja por roce. Luego los pernos se ubican contiguos a la madera presionando las paredes de los agujeros.

Esta presión que inicialmente es uniforme en su distribución sobre la superficie del agujero, con el aumento de la carga se desuniformiza debido al efecto flector que se produce en el perno, generándose concentraciones localizadas de tensiones en los bordes de la madera, el perno deformado se incrusta en la madera.

Finalmente indica que esta deformación del perno y corrimientos que ha experimentado la unión superan ampliamente las deformaciones admisibles en uniones estructurales.

De igual modo precisa que las uniones apernadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales Ay B, pero pueden utilizarse con maderas del grupo C.

2.2.6.1. Uniones Sometidas a Simple Cizallamiento

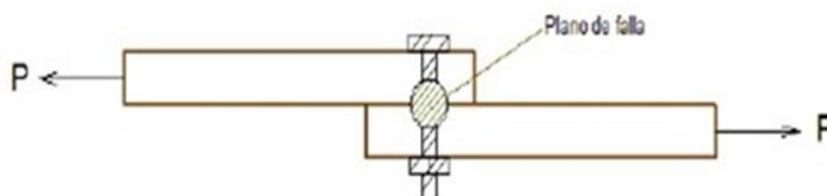
Muñoz Francisco (2019) pone de manifiesto que la carga admisible para un perno sometido a simple cizallamiento puede considerarse como la mitad de la carga tabulada o calculada para una

unión con doble cizallamiento. Para efectos de este, el elemento central debe tomarse con igual espesor y orientación que el elemento más grueso en la unión a simple cizallamiento; los elementos laterales deben considerarse con el espesor y orientación del elemento más delgado

Chamblas, (2017) menciona que el cizalle simple se hacen uniendo dos piezas de madera y uno o más materiales que se fijan entre ellas. La unión cruza un solo plano de falla. La Figura 3 muestra el plano de falla.

Figura 3

Cizallamiento simple



Nota. Tomado de *Soluciones Constructivas Aplicadas. Construcciones Con Madera*, Chamblas, Y., 2017.

2.2.6.2. Uniones Sometidas a Doble Cizallamiento

Las cargas admisibles son directamente aplicables a uniones sometidas a doble cizallamiento para el caso el espesor de cada uno de los elementos laterales es igual a la mitad del espesor del elemento central. Esto es aplicable tanto para cargas paralelas como perpendiculares al grano. Los pernos más delgados son más eficientes, es decir, son aquellos para los que la relación entre resistencia y volumen de material es mayor. Sin embargo, a menor diámetro el número de pernos

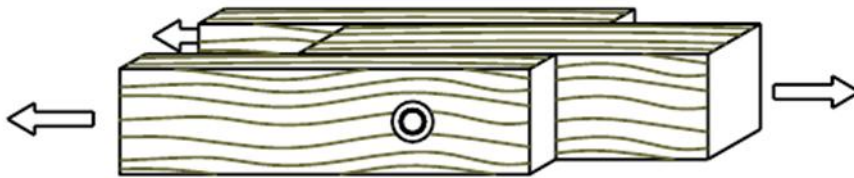
necesario es mayor, siendo más difícil satisfacer los requisitos de espaciamientos Cáceres Jhon, Mamani Beimar y Rivero Wara (2018).

2.2.6.3. Influencia de la Orientación de las Fuerzas con Relación al Grano

Los valores indicados como P, son cargas admisibles para el caso en que la fuerza en la unión sigue la dirección del grano, como se indica en la figura.

Figura 4

Unión apernada a doble cizallamiento. cargas paralelas al grano en todos los elementos.

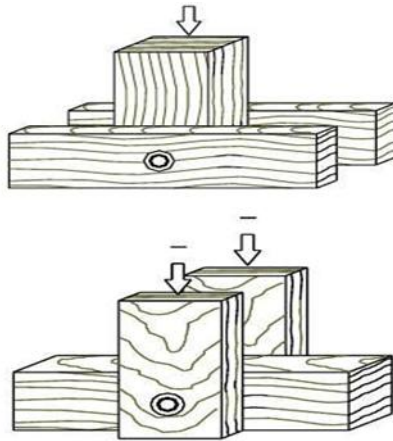


Nota. Tomado de Manual de diseño para maderas del grupo andino, por la junta de acuerdo de Cartagena.

Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela al grano del elemento, pero perpendicular al grano de los elementos laterales o viceversa se indican como Q.

Figura 5

Unión apernada a doble cizallamiento con carga perpendicular al grano



Nota. Tomado de Manual de diseño para maderas del grupo andino, por la junta de acuerdo de Cartagena.

Las cargas admisibles P y Q corresponden a dos situaciones límites. Si la carga aplicada sigue la dirección del grano en el elemento central, pero forma un ángulo θ con la dirección del grano en los elementos laterales o viceversa (Figura 6), la carga admisible puede determinarse con la fórmula de Hankinson:

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}$$

Donde

N= carga admisible kg

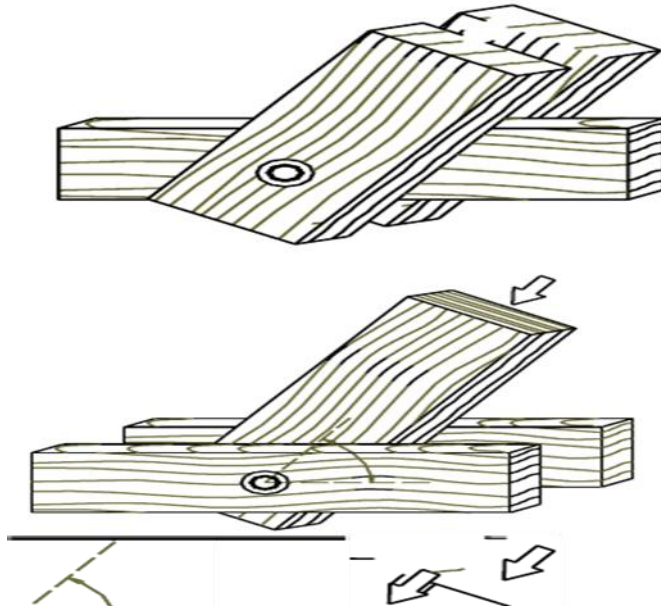
P = carga admisible en 0°

Q= carga admisible en 90°

θ = Angulo de inclinación del grano

Figura 6

Uniones apernadas, con cargas inclinadas con relación al grano



Nota. Tomado de Manual de diseño para maderas del grupo andino, por la junta de acuerdo de Cartagena.

2.2.7. La Madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste)

Maderas del Peru (2008). Describe a la madera de mashonaste de la siguiente manera:

Especie: *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.

Familia: Moraceae

Sinonimia: *Clarisia nitida* (Allemao) J.F. Macbride, *Soaresia nítida* Allemao.

Nombres Comunes: Perú: mashonaste, tulpay, amarillo, guariuba. Bolivia: mururé, mascajo, vitaca. Brasil: guariuba, oiticica amarela. Colombia: mora, ají, quebracho, guariuba. Ecuador: pituca, moral bobo. Venezuela: cajimán.

Nombre Comercial Internacional: Guariuba.

2.2.7.1. Características de la Madera

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco amarillento y las capas internas (duramen) de color amarillo intenso (como yema de huevo) de forma regular, observándose entre ambas capas un gran contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color marrón muy pálido HUE8/4 10 YR, el duramen amarillo rojizo HUE 6/6 5YR. (Munsell Soil Color Charts).

Olor: No distintivo.

Lustre o brillo: Moderado a elevado.

Grano: Recto a entrecruzado.

Textura: Mediana.

Veteado o figura: En el corte tangencial presenta arcos superpuestos diferenciados y en el corte radial presenta bandas anchas, paralelas, satinadas

2.2.7.2. Características Tecnológicas

Propiedades Físicas

Densidad básica: 0,56 gr/cm³

Contracción tangencial: 6,30 %

Contracción radial: 3,00 %

Contracción volumétrica: 9,40 %

Relación T/R: 2,10

Sílice: 0,20 a 1 %

Propiedades Mecánicas

Módulo de elasticidad en flexión: 139 000 kg/cm²

Módulo de rotura en flexión: 926 kg/cm²

Compresión paralela (RM): 536 kg/cm²

Compresión perpendicular (ELP): 76 kg/cm²

Corte paralelo a las fibras: 100 kg/cm²

Dureza en los lados: 690 kg/cm²

Tenacidad (resistencia al choque): 2,90 Kg.-m

2.2.7.3. Recomendaciones Técnicas

Maderas del Peru (2008) indica que el Mashonaste es una madera semidura de buena calidad, presenta contracciones lineales media y contracción volumétrica estable. La resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media con la categoría alta. La madera, es moderadamente difícil de aserrar por ser abrasiva debido a la cantidad de sílice, se recomienda aserrar lo antes posible después de ser talado, es necesario utilizar herramientas con carburo y dientes estelitados. Presenta buena trabajabilidad y es bueno en el taladrado, torneado, moldurado, en el encolado y en el clavado. Al proceso de secado natural es moderadamente lento, con bajo riesgo de alabeo. Buen comportamiento al secado artificial con un programa moderado. Es resistente al ataque biológico, a los ataques de termitas e insectos de maderas secas. Presenta buena resistencia al ataque de hongos xilófagos; no requieren de preservación.

2.2.7.4. Utilidad

Actualmente es usada como madera estructural en vigas, columnas, pisos, durmientes, carpintería de interiores y exteriores, construcciones navales, canoas, botes, carrocerías, mobiliario y parihuelas.

2.2. Definición de Términos Básicos

- **Cizallamiento:** Se produce un esfuerzo de cizallamiento cuando dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario, tienden a hacer resbalar, una sobre otra, las superficies contiguas de un miembro. (Universidad de la Plata 2022).
- **Esfuerzos admisibles:** esfuerzos de diseño del material para cargas de servicio, definidos para los grupos estructurales. NTE E.010 madera (Norma E.010 madera, 2021).
- **Espesor:** el grueso o la dimensión menor de la escuadría de una pieza. NTE E.010 madera (Norma E.010 madera, 2021).
- **Madera estructural:** es la que, por sus características mecánicas, principalmente, resulta apta para la elaboración de las piezas utilizadas en estructuras. NTE E.010 madera (Norma E.010 madera, 2021).
- **Perno:** Básicamente este elemento metálico con cabeza pasa por perforaciones que permiten unir y fijar cosas. Normalmente son fabricados de acero o hierro de diferentes durezas o calidades. (Wikipedia.org) NTE E.010 madera (Norma E.010 madera, 2021).
- **Unión:** es el resultado de juntar dos o más piezas entre sí, haciendo de ellas un todo. NTE E.010 madera (Norma E.010 madera, 2021).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de Investigación

El método utilizado en la investigación para recopilar la información, fue de tipo cuantitativo, de nivel experimental, debido a que se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la resistencia al cizallamiento simple y doble, de uniones estructurales unidas con pernos y ensamblados con tres tipos de ángulos, relacionados con la orientación de las fibras de la madera.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por todas las probetas *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) con uniones estructurales empernadas diseñadas para cizallamiento simple y doble, ensambladas con tres tipos de ángulos, teniendo 30 probetas para uniones simples empernadas, con ángulos 0°, 45° y 90°; de igual manera 30 probetas para uniones estructurales empernadas para cizallamiento doble, ensambladas con ángulos de 0°, 45° y 90°.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por toda la población, es decir ($n=N$) la muestra fue el 100% de la población. De tal manera todos los individuos fueron ensayados y distribuidas de la siguiente manera; 30 probetas para ensayos de uniones estructurales empernadas para cizallamiento simple, con tres tipos de ángulos (10) probetas para 0°; 10 probetas para 45° y 10 probetas para 90°. Así mismo 30 probetas para ensayos de uniones empernadas de cizallamiento doble, con tres tipos de ángulos, 10 probetas paralelo para 0°, 10 probetas para 45° y 10 probetas para 90°.

3.3. Procedimiento de Recolección de Datos

3.3.1. Localización de la Madera

La madera aserrada de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) se obtuvo en la empresa maderera INVERSIONES DELCIMAR SAC, ubicada en la carretera Fernando Belaúnde Terry kilómetro 58.500 del distrito de Puerto Inca, provincia de Puerto Inca, región Huánuco.

3.3.2. Transporte de la Madera y Acondicionamiento

La madera aserrada de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) fue transportada mediante una camioneta, desde el distrito de Puerto Inca hasta el Taller de Carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) en Pucallpa. La madera fue acondicionada en un área de taller de carpintería hasta realizar el re-aserrio.

3.3.3. Re-aserrio y Secado de la Madera

Con la ayuda de una sierra circular las piezas fueron dimensionadas con un espesor de 2.5 cm y 5 cm de ancho (Pieza Lateral) y de 5 cm de espesor por 5 cm de ancho (Pieza Central) con una longitud de 30 cm, las cuales fueron acondicionadas para un secado al aire libre y controlando su contenido de humedad mediante un higrómetro de contacto, hasta alcanzar un contenido de humedad entre 14 y 16 %, equilibrándose con la humedad de equilibrio higroscópico de Pucallpa.

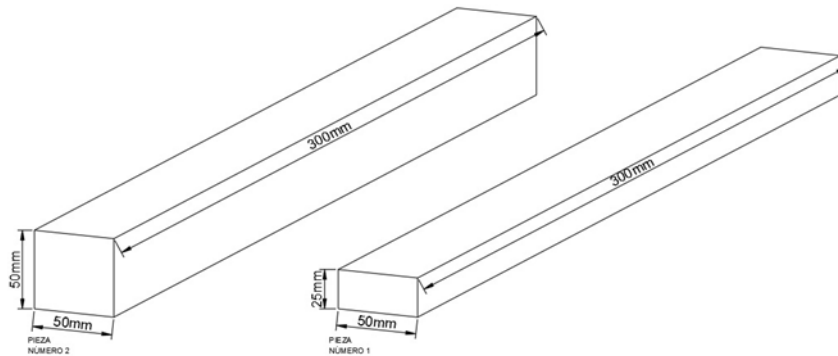
3.3.4. Preparación de las Probetas

3.3.4.1 Probetas de Cizallamiento Simple

La elaboración de las probetas de cizallamiento simple ensambladas con ángulos de 0°, 45° y 90° con relación a la disposición de las fibras de la madera, constaron de dos piezas de madera de las siguientes dimensiones.

Figura 7

Medidas de las piezas de madera de probetas para cizallamiento simple



Nota. Elaboración propia tomando las medidas (mm) de las probetas a ensayar en el cizallamiento simple empernado.

Las piezas de madera fueron ensambladas con pernos fueron unidas con un perno de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y de 9.6 cm de largo ($3 \frac{3}{4}$ "), con dos arandelas en ambos extremos del perno y de la probeta.

El ensayo de los especímenes fue realizado según lo indicado en la ASTM 1761 y fue ensamblando, cumpliendo con los requerimientos de espesores mínimos y que se encuentran en la norma E.010 Maderas.

Figura 8

Ensamblado de ambas piezas con unión empernada para cizallamiento simple con ángulo de 0°



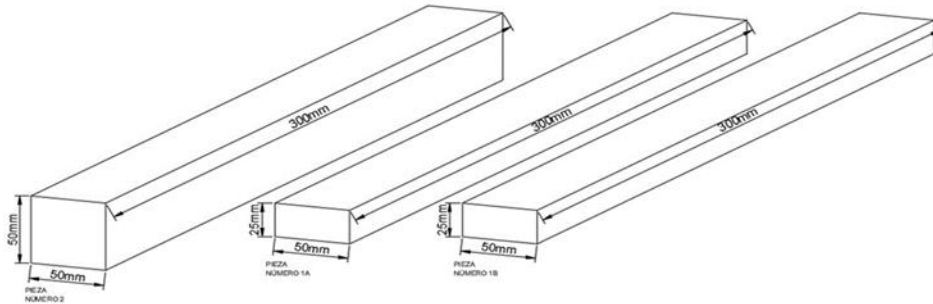
Nota. Probeta para ensayar en cizallamiento doble empernada. Tomado de la Norma E010 madera del reglamento nacional de edificaciones.

3.3.4.2 Probetas de Cizallamiento Doble

El espesor de la madera del elemento central de la unión estructural fue igual a 4 veces el diámetro del perno usado; asimismo los espesores de las piezas de madera adyacentes a la central fueron de 2 veces el diámetro del perno. Los ensayos de los especímenes fueron realizados según lo indicado en la norma ASTM 1761. Por lo tanto, las uniones estructurales fueron ensamblados cumpliendo con los requerimientos y condiciones indicados en la figura 7; así mismo, con los indicados en la norma E.010 Maderas. Las piezas de madera para cizallamiento doble en uniones emperradas, tuvieron las siguientes medidas:

Figura 9

Medidas de las piezas de madera de las probetas para cizallamiento doble

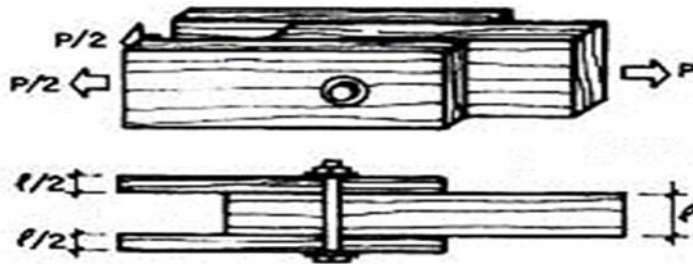


Nota. Elaboración propia tomando las medidas (mm) de las probetas a ensayar en el cizallamiento simple emperrado.

En el ensamblaje de las probetas se utilizaron dos piezas N° 01 (A-B) para los laterales y una pieza central que fue la pieza N°02, los cuales fueron unidas por un perno de 1/2" de diámetro y de 9.6 cm de largo, con dos arandelas en ambos extremos del perno y de la probeta

Figura 10

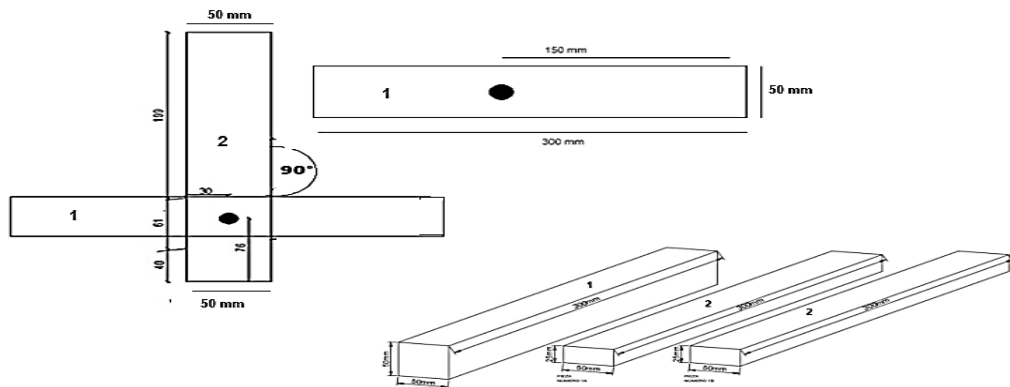
Ensamblaje de probetas de cizallamiento doble con ángulo de 0° con cargas paralelas al grano en todos los elementos (carga P)



Nota. Ensamblaje de las piezas de la probeta de cizallamiento doble empernada.
Tomado de la *Norma E010 madera del reglamento nacional de edificaciones*.

Figura 11

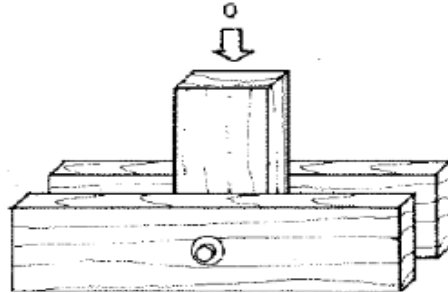
Modelo de probeta para cizallamiento doble empernado con inclinación de 90°



Nota. Elaboración propia tomando las medidas (mm) de las probetas a ensayar en el cizallamiento simple empernado.

Figura 12

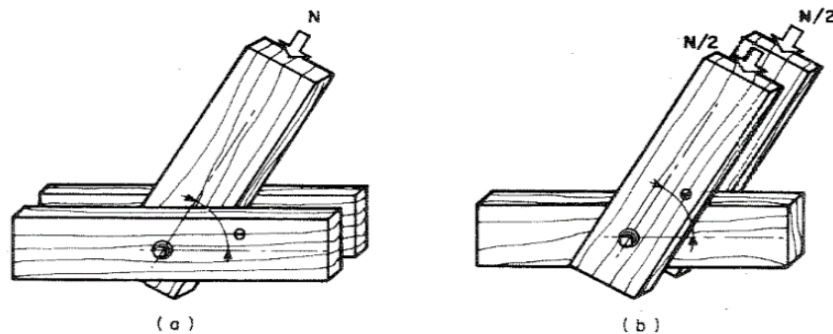
Ensamblaje de probetas de cizallamiento doble con ángulo de 90°, con cargas perpendiculares al grano en los elementos laterales y paralela al grano en el elemento central



Nota. Tomado de Manual de diseño para maderas del grupo andino, por la junta de acuerdo de Cartagena

Figura 13

Uniones emperradas, con cargas inclinadas con relación al grano con ángulo de 45°



Nota. Nota. Tomado de Manual de diseño para maderas del grupo andino, por la junta de acuerdo de Cartagena

3.3.5. Ensayo de Cizallamiento

Los ensayos de cizallamiento simples y dobles se realizaron con las probetas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste) en uniones estructurales emperradas con ángulos 0°, 45° y 90°, en la prensa universal (Tinius

Olsen).

- Velocidad de la cruceta móvil de 0.6 mm/min.
- Registro de la carga máxima (CM), observada en el software Test Navigator.
- Velocidad de la cruceta móvil de 0.6 mm/min.
- Se registró la carga máxima (CM), observada en el software Test Navigator.

Para obtener los valores de la carga admisible de las uniones empernadas con carga inclinada con ángulo de 45°, se utilizó la fórmula de Hankinson:

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}$$

Donde

N= carga admisible kg

P = carga admisible en 0°

Q= carga admisible en 90°

Ø= Ángulo de inclinación del gramo

3.4. Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos.

3.4.1. Técnicas

La recolección de datos se realizó mediante la observación directa de los ensayos en el laboratorio y a través de fuentes documentarias e informes técnicos.

3.4.2. Instrumentos

- Como instrumentos se utilizaron formatos para recolección de los datos.
- El calibrador de vernier, para medir las áreas de las probetas.

- El higrómetro de contacto, para determinar el contenido de humedad de las probetas.
- Una prensa universal de 30 toneladas de capacidad para medir la resistencia al cizallamiento en uniones empernadas con tres tipos de ángulos
- Acoples, fueron dispositivos diseñados para acoplar durante el ensayo.

3.5. Procesamientos de Datos

Los datos obtenidos de la resistencia máxima al cizallamiento simple y doble en uniones empernadas con diferentes ángulos en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), fueron llevadas a una tabla Excel para ser ordenadas y tabuladas.

3.6. Tratamientos de Datos

Para analizar la resistencia máxima del cizallamiento simple y doble, se realizaron dos análisis de varianza de un factor, un análisis para el cizallamiento simple y otro para el cizallamiento doble, teniendo como tratamiento los ángulos de inclinación de las fibras de las piezas de madera, que se originan durante el ensamblaje de las probetas.

De igual manera para determinar la relación entre las variables ángulo de inclinación de las fibras de las piezas de madera y la carga que soportan tanto en cizallamiento simple como en cizallamiento doble, se realizaron análisis de correlación y regresión lineal doble.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resistencia al Cizallamiento Simple en Uniones Empernadas en Madera de *Clarisia Racemosa*; Ruiz & Pav (Mashonaste) con Ángulos de 0°, 45° Y 90°.

Tabla 4

Valores de la carga máxima al cizallamiento simple en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia Oracemosa*; Ruiz & Pav.

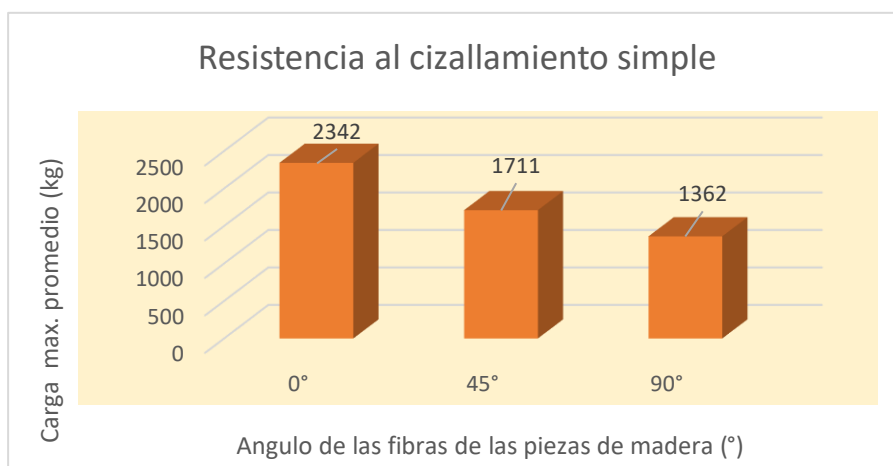
Parametros	Cizallamiento simple		
	Carga máxima (kg-f)		
	0°	45°	90°
N° observaciones	10	10	10
Promedio	2342	1711	1362
S	226.7	245.6	268.8
Cv (%)	9.7	14.4	19.7

S = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Figura 14

Carga promedio del cizallamiento simple en uniones empernadas con un ángulo de 0°, 45° y 90°



La tabla 4 y figura 14 muestran los valores de carga máxima al cizallamiento simple en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), donde se observa que las cargas máximas promedio del cizallamiento simple, con ángulo de 0°, fue de 2342 kg-f, con un CV de 9.7%; con ángulo 45° el valor fue de 1711 kg-f, con un CV de 14.4% y con ángulo de 90° fue de 1362 kg-f, con un CV de 19.7%.

Para verificar si existe diferencias significativas entre los valores promedios de las resistencias máximas de los cizallamientos simples con ángulos de 0°, 45° y 90°, se realizó, el análisis de varianza de un factor.

Tabla 5

Análisis de varianza de la carga máxima del cizallamiento simple en uniones empernadas en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Signif.</i>
Angulos	4933656.06	2	2466828.0	40.232	7.9689E-09	**
Error	1655521.77	27	61315.6			
Total	6589177.83	29				

En la tabla 5 se aprecia que la carga máxima promedio del cizallamiento simple con tres ángulos diferentes, en uniones empernadas presentan diferencias altamente significativas y para determinar entre ángulos están las diferencias de las cargas máximas, se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey.

Tabla 6

Prueba Tukey de cizallamiento simple en uniones empernadas con tres tipos de ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.

Carga máxima promedio (kg-f)		
0°	45°	90°
2342	1711	1362
A		
B		
C		

De la tabla 6 se deduce que las uniones empernadas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), unidas con diferentes ángulos las fibras de las piezas de madera, difieren de una manera altamente significativa entre sí, soportando diferentes cargas en cizallamiento simple, siendo la unión con ángulo 0° la que soporta mayor carga (2342 kg-f), la carga máxima intermedia se encuentra con ángulo de 45° (1711 kg-f) y el cizallamiento con ángulo de 90° soporta la menor carga máxima (1362 kg-f).

En cuanto al cizallamiento simple de uniones empernadas con ángulo 0°, presenta mayor resistencia, como consecuencia de la estructura anatómica de la madera que se puede expresar como un conjunto de células tubulares dispuestas en su mayoría en la dirección del eje del árbol, cuya función es la formación de tejidos para el transporte de nutrientes a lo largo de la planta (Pérez Álvaro, 2014). La resistencia a la compresión paralela al grano o a los elementos xilemáticos, es la resistencia que ofrece la madera a una fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras, también se puede decir que es la capacidad de sustentar las fuerzas que

tienden a cortar un cuerpo (Portal Leif, 2022).

Con relación a las uniones de cizallamiento simple empernadas con 45°, presentó una resistencia intermedia debido a que las fuerzas actúan en forma inclinada al conjunto de células tubulares dispuestas en su mayoría en la dirección del eje del árbol, disminuyendo el valor de su resistencia. Las uniones de cizallamiento simple empernadas con 90°, en uno de sus elementos las fuerzas actúan en forma perpendicular al grano de la madera y en el otro de los elementos la fuerza actúa en forma perpendicular al conjunto de células tubulares dispuestas en su mayoría en la dirección del eje del árbol. ISOSTATIKA (2021) menciona que la compresión perpendicular, produce un aplastamiento de las fibras en la madera debido a una concentración de cargas en una superficie pequeña, por lo que la carga máxima disminuye.

Si se compara estos resultados obtenidos de resistencia al cizallamiento simple de uniones empernadas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), con un perno de ½" de diámetro, en ángulo de 0° (2342 kg-f), con la resistencia al cizallamiento paralelo simple en madera de cumala utilizando perno de ¼" de diámetro encontrado por Lope Jhony (2018), cuyo valor fue de 687.35 kg-f, resistencia muy baja debido a que la madera de cumala pertenece a la categoría C con una densidad básica de 0.38 g/cm³ y utilizando como elemento de unión un perno de ¼" de diámetro, frente a la unión empernada con madera de mashonaste perteneciente al grupo B con 0.56 g/cm³ de densidad básica y unidos con perno de ½" de diámetro.

Del mismo modo si se compara con la carga máxima en cizallamiento simple encontrado por Veloso, Jassy (2008) para madera de pino radiata de Chile, utilizando como elemento de unión un perno de ½" de diámetro, encontró un rango de carga que varió entre 858 a 1668 kg-f, valores inferiores al encontrado para madera de mashonaste (2342 kg-f), como consecuencia de la densidad de la

madera y otras características de la madera.

4.2. Resistencia al Cizallamiento Doble en Uniones Empernadas en Madera de *Clarisia Racemosa*; Ruiz & Pav (Mashonaste) con Ángulos de 0°, 45° Y 90°.

En la tabla 7 y figura 15 se aprecian los valores de carga máxima al cizallamiento doble en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), donde se observa que las cargas máximas promedio del cizallamiento doble, con ángulo de 0° fue de 2908 kg-f, con un CV de 11.9%; con ángulo 45° el valor fue de 1807 kg-f, con un CV de 10.5% y con ángulo de 90° fue de 707 kg-f, con un CV de 11.9%.

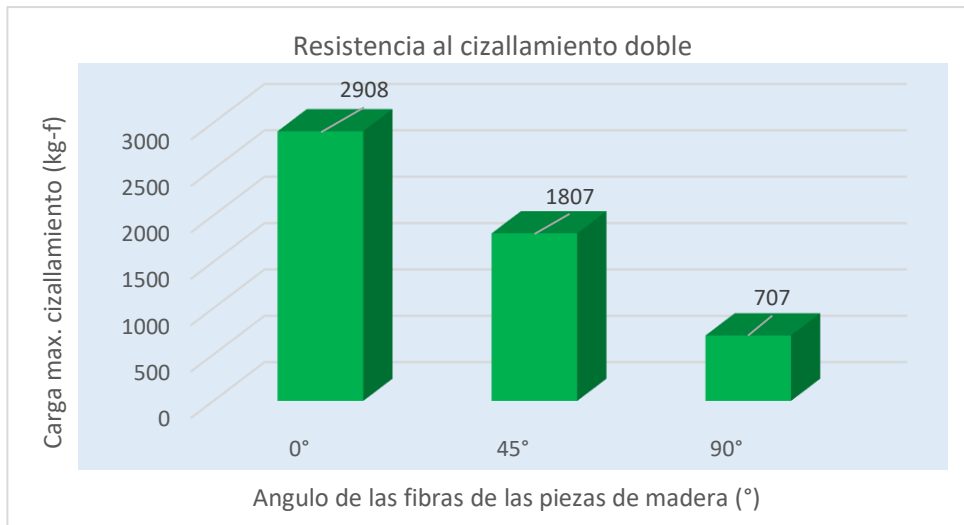
Tabla 7

Valores de la carga máxima al cizallamiento doble en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia Oracemosa; Ruiz & Pav.

Parametros	Cizallamiento doble		
	Carga máxima (kg-f)		
	0°	45°	90°
N° observaciones	10	10	10
Promedio	2908	1807	707
S	346.5	117	215
Cv (%)	11.9	16.5	11.9

Figura 15

Carga promedio del cizallamiento doble en uniones empernadas con un ángulo de 0°, 45° y 90°



Para verificar si existe diferencias significativas entre los valores promedios de las resistencias máximas de los cizallamientos dobles con ángulos de 0°, 45° y 90°, se realizó, el análisis de varianza de un factor.

Tabla 8

Análisis de varianza de la carga máxima del cizallamiento doble en uniones empernadas en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Probabilidad	Signif.
Angulos	24242218.1	2	12121109.1	202.04	5.71E-17	**
Error	1619831.8	27	59993.8			
Total	25862049.9	29				

En la tabla 8 se aprecia que la carga máxima promedio del cizallamiento doble con tres ángulos diferentes, en uniones empernadas presentan diferencias altamente significativas y para determinar entre ángulos esta la diferencia de la

carga máxima se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey.

Tabla 9

Prueba Tukey de cizallamiento doble en uniones empernadas con ángulos de 0°, 45° y 90° en madera de Clarisia racemosa; Ruiz & Pav.

Carga máxima promedio (kg-f)		
0°	45°	90°
2908	1807	707
A		
B		
C		

De tabla 9 se deduce que las uniones empernadas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), unidas con diferentes ángulos, presentan diferencias altamente significativas, soportando cargas en cizallamiento doble. Las uniones empernadas formando ángulo de 0° fueron las que soportaron la mayor carga (2908 kg-f), las que soportan una carga intermedia pero menor, fueron las uniones empernadas cuyas piezas formaron ángulo de 45° (1807 kg-f); finalmente las uniones empernadas que soportaron la menor carga en cizallamiento doble fueron aquellas cuyas piezas de madera formaron ángulo de 90° (707 kg-f).

Si se realiza una comparación con los valores de resistencia de uniones empernadas paralelo o con ángulo de 0° en madera de mashonaste, con los valores de la madera de las siete especies obtenidas por Valenzuela Wilder (2008), por haber sido realizadas en las mismas condiciones, utilizando un solo perno de ½" de diámetro y 4" de longitud. Esta comparación permite sacar algunas conclusiones como: la resistencia al cizallamiento doble paralelo del Pumaquiro es superior (3681 kg-f/perno) con respecto a la resistencia del mashonaste (2908 kg-f); la resistencia

de las uniones empernadas de la madera de chimicua (2718 kg-f/perno) presento valores similares de resistencia al de la madera de mashonaste (2908 kg-f); finalmente comparando la resistencia de las uniones empernadas y sometidos a cizallamiento doble paralelo con madera de las especies almendro, cahimbo rojo, diablo fuerte, manchinga y tornillo presentaron valores de resistencia (1985 a 2273 kg-f/perno) inferiores a los valores de resistencia de la madera de mashonaste (2908 kg-f).

En esta oportunidad si efectuamos una comparación con los valores de resistencia de uniones empernadas perpendicular o con ángulo de 90° en madera de mashonaste, con los valores de la madera de las siete especies obtenidas por Valenzuela Wilder (2008), por haber sido ensayadas en las mismas condiciones, utilizando un solo perno de ½" de diámetro y 4" de longitud. Esta comparación permite sacar algunas conclusiones como: la resistencia al cizallamiento doble perpendicular de las maderas de chimicua, manchinga, pumaquiro y tornillo son similares (493 - 694 kg-f/perno) con respecto a la resistencia del mashonaste (707 kg-f); la resistencia de las uniones empernadas de las maderas de almendro, cachimbo rojo y diablo fuerte (428 – 434 kg-f/perno) presentaron valores de resistencia inferiores a los valores de resistencia de la madera de mashonaste (707 kg-f).

4.3. Relación entre el Grado de Inclinação de las Fibras y la Carga Máxima en Cizallamiento Simple y Doble de Uniones Empernadas

Con la finalidad de conocer si existe relación significativa ente el ángulo de inclinación que lo conforman las fibras de la madera en las uniones estructurales empernadas y la carga que estas soportan en cizallamiento simple y doble, se realizaron análisis de correlación y regresión lineal doble.

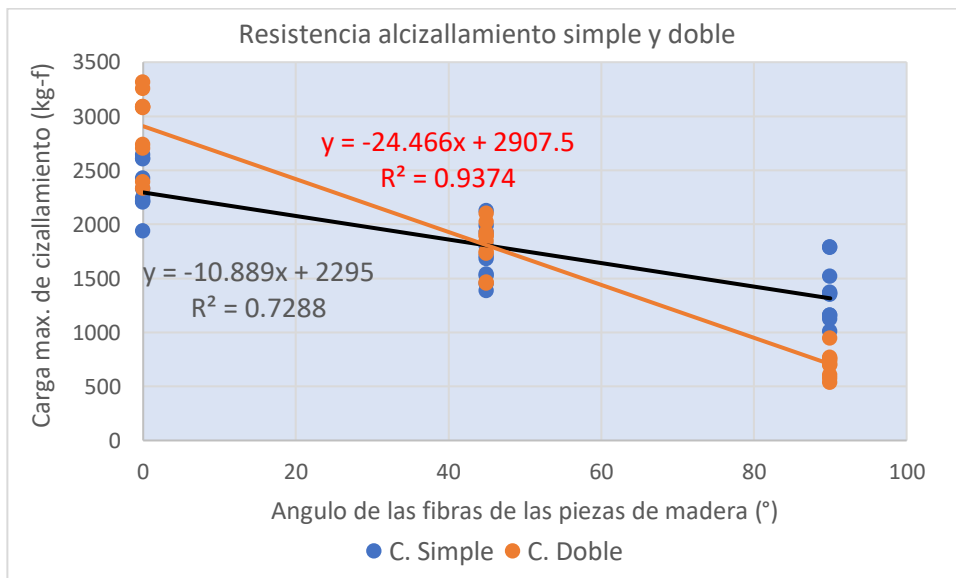
Tabla 10

Análisis de correlación y regresión entre el grado de inclinación de las uniones y carga máxima

Variables	R _{obs}	R ²	Ecuación	R _{tab}	Signif.
		x100		0.01	
Grado de inclinación					
Vs carga máxima	-0.85	72.88	Y= 2255 – 10.889X	0.423	**
cizallamiento simple					
Grado de inclinación					
Vs carga máxima	-0.97	93.74	Y= 2907.5 – 24.466X	0.423	**
cizallamiento doble					

Figura 16

Análisis de correlación y regresión entre el grado de inclinación de las uniones estructurales y carga máxima de cizallamiento simple y doble



En la tabla 10 y figura 16 se aprecian que existe una relación altamente significativa, inversamente proporcional entre el grado de inclinación de las fibras de las piezas de la madera de la unión empernada y la carga máxima promedio que soportan ($r=-0.85$); así mismo, se aprecia que el coeficiente de determinación ($r^2=$

72.88%) indica que la resistencia de las uniones empernadas, dependen del grado de inclinación en 72.88% del grado de inclinación de la unión empernada, indicando a mayor grado de inclinación menor resistencia mecánica.

Por otro lado, también se observa el coeficiente de regresión ($b=-10.889$ kg/1° de inclinación), lo que precisa que la carga en las uniones estructurales disminuye a razón de 10.89 kg por cada 1° de incremento en la inclinación de las uniones empernadas en cizallamiento simple.

De igual forma, en la tabla 10 y figura 16 se aprecian que existe una relación altamente significativa, inversamente proporcional entre el grado de inclinación de las fibras de las piezas de la madera de la unión empernada y la carga máxima promedio que soportan dichas uniones ($r=-0.97$); así mismo, se aprecia que el coeficiente de determinación ($r^2= 93.74\%$) el que indica que la resistencia de las uniones empernadas, dependen del grado de inclinación en 93.74% del grado de inclinación de la unión empernada, es decir a mayor inclinación menor resisten mecánica.

Por otro lado, también se observa el coeficiente de regresión ($b=-24.466$ kg/1° de inclinación), lo que significa que la carga en las uniones estructurales disminuye a razón de 24.466 kg por cada 1° de incremento en la inclinación de las uniones empernadas de doble cizallamiento.

Figura 17

Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano o de 90°



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En cuanto a valores de la resistencia al cizallamiento simple y doble en uniones estructurales emperradas con diferentes ángulos en madera de *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav. (Mashonaste), se obtuvo que la unión madera perno, difieren de manera altamente significativa, esto va en relación grado de inclinación y del tipo de unión.
- En cuanto al cizallamiento simple se encontró que las uniones emperradas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), ensambladas con diferentes ángulos entre las fibras de las piezas de madera, difieren de una manera altamente significativa, soportando cargas diferentes, resultando la unión emperrada con ángulo 0° la que soporto mayor carga con 2342 kg-f, la unión con ángulo de 45° soportó una carga intermedia de 1711 kg-f y la unión emperrada con ángulo de 90° soporto la menor carga con 1362 kg-f.
- Con relación al cizallamiento doble se encontró que las uniones emperradas de madera de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Mashonaste), ensambladas con diferentes ángulos entre las fibras de las piezas de madera, también, difieren de una manera altamente significativa, soportando cargas diferentes, resultando la unión emperrada con ángulo 0° la que soporta mayor carga con 2908 kg-f, la unión con ángulo de 45° soportó una carga intermedia de 1807 kg-f y la unión emperrada con ángulo de 90° soporto la menor carga con 707 kg-f.
- Existe una relación altamente significativa, inversamente proporcional entre el grado de inclinación de las fibras de las piezas de la madera de la unión

empernada y la carga máxima en cizallamiento simple y doble, En cizallamiento simple el coeficiente de correlación fue de $r = -0.85$ y el coeficiente de determinación que indica que la carga de las uniones empennadas, dependen en 72.88% del grado de inclinación de las fibras. También, se encontró el coeficiente de regresión lo que precisa que la carga en las uniones estructurales disminuye a razón de 10.889 kg-f por cada 1° de incremento en el ángulo de las uniones empennadas. En cizallamiento doble el coeficiente de correlación fue de $r = -0.97$ y el coeficiente de determinación que indica que la carga de las uniones empennadas, dependen en 93.74% del grado de inclinación de las fibras. Asimismo, se encontró el coeficiente de regresión lo que precisa que la carga en las uniones estructurales disminuye a razón de 24.466 kg-f por cada 1° de incremento en el ángulo de las uniones empennadas.

5.2. Recomendaciones

- En concordancia con los valores de su resistencia al cizallamiento tanto simple como doble en uniones estructurales empennada, se recomienda el uso de la madera de *Clarisia racemosa*; Ruiz & Pav (mashonaste) como madera de uso estructural, empleándose como elemento estructural como vigas, marcos, cerchas, columnas, entramados y otras construcciones mayores.
- En uniones empennadas sometidas a cizallamiento en lo posible utilizar el cizallamiento paralelo o con ángulo de 0° , por su elevada resistencia y en lo posible en menor proporción el cizallamiento perpendicular o con ángulo de 90° , por su baja resistencia.
- Ensayar probetas sometidas a esfuerzo de cizallamiento en otras especies, con otras dimensiones y número del elemento de unión (perno).

- Para que los datos no tengan mucha variabilidad tomar en cuenta la procedencia de la muestra, la edad, sección del árbol a la que pertenece, tipo de corte, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcántara Fabio. (2019). Uniones estructurales con tirafones en madera copaiba (*Copaifera officinalis*). Trujillo, Peru. Disponible en:
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4994>
- Arias Melina. (2010). *Evaluación de la resistencia de diferentes tipos de uniones de madera de teca (Tectona grandis)*. Universidad de Costa Rica. Disponible en:
<https://kimuk.conare.ac.cr/Search/Results?lookfor=%22Resistencia+de+materiales%22&type=Subject>
- Aróstegui, A., González, V. y Sato, A. (1986). Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque Nacional Alexander Von Humboldt. Revista Forestal del Perú, 10(1-2), 1-86.
- Bodig, J. y Goodman, J. R. (1973). Prediction of elastic parameters for wood. wood science. Madrid: SE.
- Cáceres Jhon, Mamani Beimar y Rivero Wara. (2018). Uniones Empernadas A Doble Cizallamiento. Visto el 30 de mayo del 2024. Disponible en:
<https://es.scribd.com/presentation/378027910/Uniones-Empernadas-a-Doble-Cizallamiento>
- Criollo Molina, E. A. (2013.). Ensayo de conexiones especiales de madera sometidas a carga axial. Quito: SE.
- Chamblas, Y. (2017). Soluciones constructivas aplicadas. construcciones con madera, Lima: SE.
- García John y Moreno Sonia (2021). Estructuras en madera nociones básicas. Córdoba (España). Visto el 18 de abril del 2024. Disponible en:

https://proyectodescartes.org/iCartesiLibri/materiales_didacticos/Estructuras_en_madera/index.html

Hansen, H. (2015). Diseño moderno de estructuras de madera. Mexico: SE.

ISOSTATICA. (2022). Uniones de estructuras de maderas: pernos y clavos. LIMA.

Disponible en: <https://isostatika.com/blog/uniones-estructura-madera-pernos/>

Ibañez Iñigo y Moreno Soraya. (2022). Estructuras que hablan el lenguaje de tus proyectos.

Visto 20 de mayo del 2024. Disponible en: <https://isostatika.com/quienes-somos/>

Lope Jhony (2018). Uniones empernadas de madera cumala con pernos de ¼” Tesis para optar título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en:

<https://1library.co/document/zw5d9o0z-uniones-empernadas-madera-cumala-pernos.html>

Maderas del Perú. (2008). Mashonaste. Visto 5 de junio del 2024. Disponible en:

<https://madereravillamaria.com/wp-content/uploads/2020/08/MADERA-MASHONASTE.pdf>

Muñoz Francisco (2019). Diseño de uniones y acoples. Visto 25 de mayo del 2024.

Disponible en: <https://es.scribd.com/document/413982267/Diseno-de-Uniones-y-Acoples>

Odicio Marden. (1993). *Cuantificación de residuos de aserrío de ocho especies forestales* en Pucallpa-Perú. Tesis para optar título de Ingeniero Forestal. FCF.

Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos – Perú. 77 p .

OIMT. (2014). Regeneración natural de bosques secundario tropical en el sur de la amazonia. Brasil: SE.

PADT-REFORT/JUNAC (1984). Manual de clasificación de madera estructurales, 2da edición, Lima - Perú.

Peciña-Lopez Daniel. (2022). Ciudades sostenibles. Visto el 24 de mayo del 2024.

Disponible en: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/author/danielpecinaeditor/page/15/>

Pérez Álvaro. (2014). Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM. Tesis para optar grado de Máster en Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid. España. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6569/TFM-L150.pdf?sequence=1>

Pi Ríos, German. (2018). Uniones empernadas de madera cumala con pernos de 3/8".

Lima. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_49c9bf80fa9013ce156a524a38c99435

Portal Leif. (2010). Maderas de la región de Madre de Dios – Peru. Disponible en:

<https://maderasdemadrededios.blogspot.com/p/propiedades-mecanicas.html>

Valenzuela Wilder. (2008) Uniones estructurales madera madera-empleando tornillo y copaiba. Revista Forestal del Perú. Vol 11-(1-2): 1:9. En línea.

[http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol09_no2_79_\(13\)/vol9_no2_art1.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol09_no2_79_(13)/vol9_no2_art1.pdf)

Valenzuela Wilder. (2008). Uniones estructurales madera-madera empleando tornillo y copaiba. Revista Forestal del Perú. Vol 11(1-2): 1:9. Lima, Perú: disponible en:

[http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol11_no1-2_82-83_\(15\)/vol11_art2.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol11_no1-2_82-83_(15)/vol11_art2.pdf)

Veloso, Jassy. (2008). Estudio del Comportamiento Estructural de Uniones a Escala Real de Madera Pino Radiata con Pernos de Acero, Caso Específico de Uniones de

Cizalle Doble Sometidas a Compresión Axial”. Tesis para optar título de Ingenio Civil. Universidad de Bio Bio. Chile. Visto el 12 de mayo del 2024. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2300/1/Veloso_Paredes_Jassy.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

Resultado de los ensayos de cizallamiento simple 0°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



CIZALLAMIENTO SIMPLE EMPERNADA 0°

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento simple
Operator: NCFV Test Date: 24/10/2023

N°	SampleID	Sample No.	Ancho cm	Espeso cm	Área cm ²	CMAX kg
1	Mashonaste	MA-1-0°	5	2.5	12.5	2242.0
2	Mashonaste	MA-2-0°	5	2.5	12.5	2213.5
3	Mashonaste	MA-3-0°	5	2.5	12.5	1938.0
4	Mashonaste	MA-4-0°	5	2.5	12.5	2213.5
5	Mashonaste	MA-5-0°	5	2.5	12.5	2204.0
6	Mashonaste	MA-6-0°	5	2.5	12.5	2423.5
7	Mashonaste	MA-7-0°	5	2.5	12.5	2642.0
8	Mashonaste	MA-8-0°	5	2.5	12.5	2604.0
9	Mashonaste	MA-9-0°	5	2.5	12.5	2327.5
		MA-10-				
10	Mashonaste	0°	5	2.5	12.5	2609.7
PROMEDIO						226.7
S						9.7
CV(%)						2242.0

ANEXO 2

Resultado de los ensayos de cizallamiento simple 45°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



CIZALLAMIENTO SIMPLE EMPERNADA 45°

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento simple
Operator: NCFV Test Date: 25/10/2023

N°	SampleID	Sample No.	Ancho cm	Espeso cm	Área cm2	C _{MAX} kg
1	Mashonaste	MA-1-45°	5	2.5	12.5	1985.9
2	Mashonaste	MA-2-45°	5	2.5	12.5	1384.3
3	Mashonaste	MA-3-45°	5	2.5	12.5	1450.5
4	Mashonaste	MA-4-45°	5	2.5	12.5	1520.2
5	Mashonaste	MA-5-45°	5	2.5	12.5	1681.6
6	Mashonaste	MA-6-45°	5	2.5	12.5	1535.5
7	Mashonaste	MA-7-45°	5	2.5	12.5	1928.5
8	Mashonaste	MA-8-45°	5	2.5	12.5	1796.7
9	Mashonaste	MA-9-45°	5	2.5	12.5	1707.4
10	Mashonaste	MA-10-45°	5	2.5	12.5	2123.3
PROMEDIO						1711
S						245.6
CV(%)						14.4

ANEXO 3

Resultado de los ensayos de cizallamiento simple 90°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



CIZALLAMIENTO SIMPLE EMPERNADA 90°

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento simple
Operator: NCFV Test Date: 26/10/2023

N°	SampleID	Sample No.	Ancho cm	Espeso		Área cm ²	C _{MAX} kg
				cm	cm		
1	Mashonaste	MA-1-90°	5	2.5	12.5	1782.4	
2	Mashonaste	MA-2-90°	5	2.5	12.5	1007.0	
3	Mashonaste	MA-3-90°	5	2.5	12.5	1159.0	
4	Mashonaste	MA-4-90°	5	2.5	12.5	1157.6	
5	Mashonaste	MA-5-90°	5	2.5	12.5	1359.5	
6	Mashonaste	MA-6-90°	5	2.5	12.5	1123.7	
7	Mashonaste	MA-7-90°	5	2.5	12.5	1518.5	
8	Mashonaste	MA-8-90°	5	2.5	12.5	1371.5	
9	Mashonaste	MA-9-90°	5	2.5	12.5	1348.3	
10	Mashonaste	MA-10-90°	5	2.5	12.5	1789.7	
PROMEDIO							1362
S							268.8
CV(%)							19.7

ANEXO 4

Resultado de los ensayos de cizallamiento doble 0°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



The First Name In Materials Testing

CIZALLAMIENTO DOBLE EMPERNADA 0°

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento doble
Operator: NCFV Test Date: 26/10/2023

N°	SampleID	Sample		Espeso		Área cm ²	CMAX kg
		No.	Ancho cm	cm			
1	Mashonaste	MA-1-0°	5.00	2.50	12.50	3087.7	
2	Mashonaste	MA-2-0°	5.00	2.50	12.50	3257.1	
3	Mashonaste	MA-3-0°	5.00	2.50	12.50	3315.62	
4	Mashonaste	MA-4-0°	5.00	2.50	12.50	3087.7	
5	Mashonaste	MA-5-0°	5.00	2.50	12.50	2737.35	
6	Mashonaste	MA-6-0°	5.00	2.50	12.50	2702.7	
7	Mashonaste	MA-7-0°	5.00	2.50	12.50	3083.85	
8	Mashonaste	MA-8-0°	5.00	2.50	12.50	2391.774	
9	Mashonaste	MA-9-0°	5.00	2.50	12.50	2333.1	
10	Mashonaste	MA-10-0°	5.00	2.50	12.50	3078.46	
PROMEDIO							346.5
S							11.9
CV (%)							3087.7

ANEXO 5

Resultado de los ensayos de cizallamiento doble 45°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



CIZALLAMIENTO DOBLE EMPERNADA 45°

The First Name In Materials Testing

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento doble
Operator: NCFV Test Date: 27/10/2023

N°	SampleID	Sample No.	Ancho cm	Espeso cm	Área cm2	CMAX kg
1	Mashonaste	MA-1-45°	5.00	2.50	12.50	1137.7
2	Mashonaste	MA-2-45°	5.00	2.50	12.50	1464.4
3	Mashonaste	MA-3-45°	5.00	2.50	12.50	1196.2
4	Mashonaste	MA-4-45°	5.00	2.50	12.50	1138.2
5	Mashonaste	MA-5-45°	5.00	2.50	12.50	1174.2
6	Mashonaste	MA-6-45°	5.00	2.50	12.50	1182.4
7	Mashonaste	MA-7-45°	5.00	2.50	12.50	1010.7
8	Mashonaste	MA-8-45°	5.00	2.50	12.50	872.5
9	Mashonaste	MA-9-45°	5.00	2.50	12.50	922.8
10	Mashonaste	MA-10-45°	5.00	2.50	12.50	1231.4
PROMEDIO						1133.1
S						168.2
CV(%)						14.85

ANEXO 6

Resultado de los ensayos de cizallamiento doble 90°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA



CIZALLAMIENTO DOBLE EMPERNADA 90°

Tinius Olsen
The First Name in Materials Testing

Lot Number: 001 Test Setting: Cizallamiento doble
Operator: NCFV Test Date: 27/10/2023

N°	SampleID	Sample No.	Ancho cm	Espeso cm	Área cm2	CMAX kg
1	Mashonaste	MA-1-90°	5.00	2.50	12.50	697.3
2	Mashonaste	MA-2-90°	5.00	2.50	12.50	944.6
3	Mashonaste	MA-3-90°	5.00	2.50	12.50	729.7
4	Mashonaste	MA-4-90°	5.00	2.50	12.50	697.7
5	Mashonaste	MA-5-90°	5.00	2.50	12.50	747.4
6	Mashonaste	MA-6-90°	5.00	2.50	12.50	756.8
7	Mashonaste	MA-7-90°	5.00	2.50	12.50	604.4
8	Mashonaste	MA-8-90°	5.00	2.50	12.50	533.5
9	Mashonaste	MA-9-90°	5.00	2.50	12.50	575.1
10	Mashonaste	MA-10-90°	5.00	2.50	12.50	769.6
PROMEDIO						706
S						117.0
CV(%)						16.6

ANEXO 7

Proceso de fabricación y ensamblaje de las probetas para los ensayos de cizallamiento simple y doble.

Figura 20

Proceso de cortes



Figura 21

Piezas de madera



Figura 22

Piezas laterales para uniones simples y dobles



Figura 23

Piezas centrales



ANEXO 8

Ensayos de las probetas para los ensayos de cizallamiento simple y doble en el Laboratorio de Tecnología de la Madera

Figura 24

Cizallamiento simple 0°



Figura 25

Cizallamiento doble 0°



Figura 26

Acople para cizallamiento simple y doble 45°



Figura 27

Cizallamiento simple 45°



Figura 28

Cizallamiento doble 45°



Figura 29

Acople para cizallamiento simple y doble 90°



Figura 30

Cizallamiento simple 90°



Figura 31

cizallamiento doble 90°

