

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTATICA Y AL
CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO EN
UNIONES CLAVADAS EN MADERA DE *Cariniana domestica*
Mart. (CACHIMBO ROJO) DE LA ZONA DE PUCALLPA –
UCAYALI.**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

KAREN, SOLSOL RODRIGUEZ

Pucallpa, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 479/2025-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 10:20 a.m. del día 09 de mayo de 2025, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, designados con **Memo Múltiple N.º 020-2025-UNU-FCFyA-CGyT**, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera.

Presidente

Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido.

Miembro

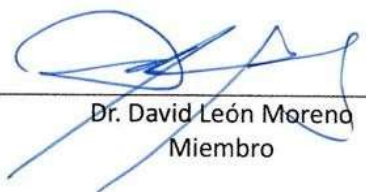
Dr. David León Moreno.

Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **"RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA Y AL CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO EN UNIONES CLAVADAS EN MADERA DE *Cariniana domestica* Mart. (CACHIMBO ROJO) DE LA ZONA DE PUCALLPA – UCAYALI"**, presentado por la bachiller **KAREN SOLSOL RODRIGUEZ**, asesorado por el Mg. MOISÉS TORRES VELASCO. Finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas por la sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO POR MAYORIA**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 11 :10 a.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.


Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente


Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido
Miembro


Dr. David León Moreno
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientes de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera



Presidente

Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido



Miembro

Dr. David León Moreno



Miembro

Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco.



Asesor

Bach. Karen Solsol Rodríguez.



Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/044-2025.

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

"RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA Y AL CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO EN UNIONES CLAVADAS EN MADERA DE CARINIANA DOMESTICA MART. (CACHIMBO ROJO) DE LA ZONA DE PUCALLPA - UCAYALI"

Autor(es) : SOLSOL RODRIGUEZ, KAREN
Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela : ING. FORESTAL
Asesor(a) : M.Sc. TORRES VELASCO, MOISES

Presenta un **porcentaje de similitud de 5%**, 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: 29/01/2025



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, Karen Solso Rodríguez

Autor de la tesis titulada: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ESTÁTICA Y AL CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO EN UNIONES CLAVADAS EN MADERA DE Cariniana domestica Mart (CACHIMBO ROJO) DE LA ZONA DE PUCALLPA - UCAYALI

Sustentada el año 2025

Asesor(a): Moises Torres Velasco

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniero 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: 05/06/2025

Email: kataleyasolsol@gmail.com Firma: Karen Solso

Teléfono: 971233542 DNI: 48434061

DEDICATORIA

A Dios quien me dio la fortaleza y la voluntad de seguir adelante para vencer las adversidades.

Dedicado a mis padres e hijas Kataleya y Ghaela, que son la motivación y la razón de mi vida y por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Dios, quién es fuente de sabiduría, inteligencia y de vida, también agradezco a los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali por las valiosas e importantes enseñanzas impartidas.

Al Ing. Moisés Torres Velasco asesor de esta tesis, por su apoyo brindado en la revisión minuciosa de la tesis.

Al Dr. Pedro Campos Aparicio, por su importante apoyo en la revisión y corrección en la redacción y el desarrollo de la tesis

Al Mg Lic. Desiderio Vázquez Placido, miembro del jurado de tesis, por su apoyo en la consolidación y minuciosa revisión de la tesis.

Al Lic. David León Moreno, por sus aportes y criterios en el desarrollo de la redacción de la tesis.

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

INDICE GENERAL

<i>Acta de sustentación de tesis.....</i>	<i>i</i>
<i>Acta de aprobación</i>	<i>ii</i>
<i>Constancia Antiplagio.....</i>	<i>iii</i>
<i>Autorización de publicación de tesis</i>	<i>iv</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>v</i>
<i>Agradecimientos.....</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de tablas.....</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de figuras.....</i>	<i>x</i>
<i>Resumen.....</i>	<i>xi</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>xii</i>
Introducción.....	1
Capítulo I.....	2
Planteamiento del Problema	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.1.1. Problema general.....	3
1.1.2. Problemas específicos	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
Capitulo II.....	5
Marco Teórico	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5

2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	7
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. El elemento de sujeción (clavo)	9
2.2.2. Tipo de uniones en madera.....	16
2.2.3. Uniones clavadas.....	17
2.2.4. Factores que afectan la resistencia de una unión clavada.....	20
2.2.5. Criterios para calcular la capacidad portante	23
2.2.6. Descripción de la especie Cariniana domestica Mart. (Cachimbo rojo). 25	
2.3. Definición de términos básicos.....	28
Capitulo III	29
Metodología de la investigación	29
3.1. Método de investigación.....	29
3.2. Población y muestra.....	29
3.2.1. Población	29
3.2.2. Muestra	29
3.3. Procedimientos de recolección de datos	30
3.3.1. Ubicación de la madera	30
3.3.2. Transporte del material experimental	30
3.3.3. Re-aserrío de la madera.....	30
3.3.4. Secado de la madera	30
3.3.5. Caracterización del elemento de sujeción	30
3.3.6. Elaboración de las probetas.....	31
3.4. Técnicas de instrumentos para recolección de datos.....	35
3.4.1. Técnicas.....	35
3.4.2. Instrumentos	35
3.5. Procesamientos de datos.....	35

3.6. Tratamientos de datos.....	35
Capítulo IV	36
Resultados y Discusión	36
4.1. Flexión de madera empalmada con uniones clavadas.....	36
4.1.1. Módulo de elasticidad.....	36
4.1.2. Módulo de Ruptura.....	39
4.2. Resistencia al cizallamiento simple paralela al grano en uniones clavadas.....	42
Capítulo V	44
Conclusiones y Recomendaciones	44
5.1. Conclusiones.....	44
5.2. Recomendaciones.....	45
5.3. Referencias Bibliográficas	46
Anexos	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valores mecánicos promedio de las piezas ensayadas</i>	5
Tabla 2. <i>Dimensiones de los clavos para madera</i>	13
Tabla 3. <i>Espaciamiento mínimo para simple cizallamiento o doble cizallamiento clavado de un solo lado</i>	15
Tabla 4. <i>Espaciamiento mínimo para simple cizallamiento con pretaladrado o doble cizallamiento simétrico</i>	15
Tabla 5. <i>Valores de módulo de elasticidad (MOE) en unión empalmada con clavos en madera de Cariniana domestica Mart (Cachimbo rojo)</i>	36
Tabla 6. <i>Prueba de dos medias de muestras independientes del MOE de madera sólida y empalmada con clavo</i>	37
Tabla 7. <i>Valores del módulo de ruptura de madera de Cariniana domestica Mart (Cachimbo rojo) empalmada con clavos y el testigo o madera solida</i>	39
Tabla 8. <i>Prueba de comparación de dos medias de muestras independientes del MOR de madera sólida y empalmada con clavos</i>	40
Tabla 9. <i>Resistencia máxima al cizallamiento simple en uniones estructurales clavadas en madera de cachimbo</i>	42

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Uniones carpinteras japonesas de empalme oblicuo</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Partes del clavo</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Tipos de clavos para hacer uniones con madera.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4. Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento simple</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Espaciamiento del clavado.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6. Empalmes en madera</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Ensamble en madera.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8. Acoplamiento en madera</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9. Modos de rotura en una unión clavada.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10. Probeta para cizallamiento simple paralelo al grano</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11. Medidas de las piezas de las probetas de flexión estática</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12. Módulo de la elasticidad de la madera de cachimbo rojo empalmada con clavos de caña lisa.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Módulo de la ruptura de la madera de cachimbo unida con clavos.....</i>	<i>39</i>

RESUMEN

El trabajo se ejecutó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali. Tuvo como objetivo general determinar la resistencia a la flexión estática y cizallamiento simple paralelo al grano de uniones clavadas en la madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de la zona de Pucallpa. Además, tuvo como objetivos específicos determinar el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura en flexión estática en uniones clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de la zona de Pucallpa y determinar la resistencia al cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de la zona de Pucallpa. Las metodologías usadas estuvieron basadas en las Normas E010, ASTM-1761-74., COPANT 458, NTP 251.017. Los resultados sobre la resistencia a la flexión estática en uniones empalmadas con clavos de acero de caña lisa en madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fueron: módulo de elasticidad (MOE) de 94847 kgf/cm², difiere y representa el 83.41 % del MOE de madera sólida o testigo. En cuanto al módulo de ruptura (MOR) alcanzó 719 kgf/cm², difiere y representa el 68.1 % del MOR de madera sólida o testigo. La resistencia al cizallamiento paralelo al grano en uniones estructurales clavadas, fue de 2295 kgf, con un C.V. de 16.21 %. Se puede deducir que la resistencia por clavo fue de 573.76 kgf.

Palabras claves: Modulo de elasticidad, módulo de ruptura, resistencia al cizallamiento de uniones clavadas, clavos, madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo).

ABSTRACT

This work was carried out in the Wood Technology Laboratory of the Faculty of Forestry and Environmental Sciences of the National University of Ucayali. Its general objective was to determine the resistance to static *xiiodxiira* and simple shear parallel to the grain of nailed joints in the *xiiod* of *Cariniana domestica* Mart. (Red Cachimbo) from the Pucallpa *xiiod*. In addition, the specific objectives were to determine the modulus of elasticity and the modulus of *xiiodxiira* in static *xiiodxiira* in nailed joints in *Cariniana domestica* Mart *xiiod*. (Cachimbo rojo) from the Pucallpa *xiiod* and determine the resistance to simple shear parallel to the grain in nailed joints in *Cariniana domestica* Mart *xiiod*. (Red Cachimbo) from the Pucallpa area. The methodologies used were *xiiodxiiraxii* Standards E010, ASTM-1761-74., COPANT 458, NTP 251.017. The results on the resistance to static *xiiodxiira* in joints spliced with smooth-shank *xiiodxii* nails in *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) *xiiod* were: modulus of elasticity (MOE) of 94847 kgf/cm², it differs and represents 83.41 % of the MOE of *xiiodxiiraxii* witness *xiiod*. Regarding the modulus of *xiiodxiira* (MOR) it reached 719 kgf/cm², it differs and represents 68.1% of the MOR of *xiiodxiiraxii* control *xiiod*. The shear strength parallel to the grain in nailed structural joints was 2295 kgf, with a C.V. of 16.21%. It can be deduced that the resistance per nail was 573.76 kgf.

Keywords: Modulus of elasticity, modulus of *xiiodxiira*, shear resistance of nailed joints, nails, *Cariniana domestica* Mart *xiiod*. (Red Cachimbo).

INTRODUCCION

En el Perú, la madera es uno de los materiales de construcción más habituales a nivel estructural de casas y estructuras pequeñas, debido a esto existe un interés en aprender más sobre el comportamiento de la madera, como material estructural esto conduce al análisis de cada elemento usado como estructura en un diseño de edificaciones de madera. En la construcción se utilizan muchos tipos de estructuras de madera, una de las cuales es las vigas y columnas unidas por clavos. Una de las mayores dificultades al construir con madera se origina en el diseño y producción de uniones estructurales. La capacidad de carga de las uniones estructurales está determinada por los siguientes factores resistencia de la madera, resistencia de elementos de unión o resistencia de ambas combinaciones. Independientemente del tipo de unión, existen otros factores en general, para todos ellos. En resumen, el aprendizaje es muy importante para promover el desarrollo de Normas, directrices y manuales alcanzables para uniones en estructuras de madera. Construir con madera significa asumir el desafío de resolver problemas en uniones, si quieres calidad, durabilidad y rentabilidad, únete a un sindicato. En el diseño estructuralmente hablando, este concepto de unión está enteramente relacionado con los elementos de conexión utilizada. En el diseño de madera, el análisis de las uniones estructurales es una de las principales preocupaciones, por lo tanto, una unión débil puede crear una estructura ineficiente o inseguro, y el rendimiento del conjunto será inadecuado si no resiste la acción necesaria para que los elementos conectados desarrollen su capacidad de carga durante el servicio. Al ensamblar uniones de madera, tienes una variedad de opciones, los clavos parecen ser el método de conexión más sencillo y básico. Los clavos se utilizan normalmente en la preparación de puntos de caña lisa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Nájera et al. (2005), Sánchez (1996) y Taquire (1987) citados por Sanchez E. (2023) precisan claramente que en la mayoría de los países desarrollados es un requisito indispensable clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades tecnológicas para brindarles una óptima utilización. Los desafíos que enfrenta la industria forestal del país son cada vez más complejos, y la calidad es la base para que las empresas sobrevivan en la competencia. Desafortunadamente, la industria forestal en su conjunto está en desventaja frente a competidores potenciales, ya que carece de conocimientos técnicos suficientes sobre las distintas especies de interés comercial y si se cuenta con esto, no se está aprovechando el uso óptimo.

Corrales Atilio (2018) sostiene que la disminución del número de especies forestales utilizadas en la manufactura maderera se debe, entre otras cosas, a un menor énfasis en la investigación en las características técnicas de nuevas especies que puedan reemplazar a las tradicionales amenazadas por el aprovechamiento excesivo. En tal sentido, el aprovechamiento selectivo crea una escasez de materias primas valiosas, altos costos de productos derivados que están cada vez más fuera del alcance de los consumidores de bajos ingresos.

El mismo autor señala que cuando se construye con madera, una de las mayores dificultades se presenta en el diseño y fabricación de las uniones estructurales. La capacidad de carga de las uniones estructurales está gobernada por la resistencia de la madera, del elemento de unión o por una combinación de ambos. Independientemente del tipo de unión, existen otros factores que afectan en general a todos ellos. De lo mencionado anteriormente es de gran importancia contar con estudios técnicos e

información que sirvan de base para incentivar la formulación de normas, guías, y manuales sobre uniones estructurales en madera, para lograr una eficiente solución en ingeniería de la construcción. Esta situación permitió desarrollar esta investigación, con la finalidad de resolver las siguientes interrogantes.

1.1.1. Problema general

- ✓ ¿Cuáles fueron los valores de la resistencia a la flexión estática y cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas con la madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) proveniente de la zona de Pucallpa?

1.1.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál fue el valor a la resistencia al cizallamiento simple paralelo al grano en uniones estructurales clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo)?
- ✓ ¿Cuál fue el valor a la resistencia a la flexión estática en uniones empalmados con clavos en la madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo)?

1.2. JUSTIFICACION

En la Región Ucayali el aprovechamiento de las especies maderables proviene fundamentalmente de los bosques naturales, bajo un sistema de extracción selectivo. Por otro lado, los bosques secundarios o purmas son originados por la tumba y quema de los bosques, efectuada por la agricultura migratoria, la cual se deforestan anualmente 261,158 hectáreas. La madera es uno de los materiales que se utiliza en la industria de la construcción y una de sus mayores dificultades se presenta en el diseño y fabricación de las uniones estructurales. La capacidad de carga de las uniones estructurales está gobernada por la resistencia de la madera, del elemento de unión o por una combinación

de ambos. Independientemente del tipo de unión, existen otros factores que afectan en general a todos ellos. De lo mencionado anteriormente es de gran importancia contar con estudios técnicos e información que sirvan de base para incentivar la formulación de normas, guías, y manuales sobre uniones estructurales en madera, para lograr una eficiente solución en ingeniería de la construcción. De esta manera, la investigación beneficiará a profesores universitarios, ingenieros forestales, ingenieros civiles, inclinados a la construcción y otras personas atraídas al mundo de la construcción en madera., especialmente con madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la resistencia a la flexión estática y cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas en la madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de la zona de Pucallpa

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura en flexión estática en uniones clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de la zona de Pucallpa.
- ✓ Determinar la resistencia al cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo) de La zona de Pucallpa.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Macedo Israel (2018), en su tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás titulada “Diseño y Determinación de la Flexión Estática de Elementos Estructurales de Madera”, realizó ensayos para conocer el comportamiento mecánico a la flexión de la madera de pino. Y el pegamento, para ello, creó 4 métodos de procesamiento: T1 = madera sin núcleo, T2 = madera con núcleo de chapa galvanizada, T3 = madera con chapa de acero y T4 = madera con núcleo de malla de zinc galvanizado.

Tabla 1.

Valores mecánicos promedio de las piezas ensayadas

Tratamiento	Tiempo (s)	Carga max. (kg)	MOR Kgf/cm ²	MOE Kgf/cm ²
T1	225.68	604.85	1222.80	138 308.69
T2	94.66	1502.02	1704.93	198 908.2
T3	164.09	1639.11	823.78	697 478.22
T4	149.02	1485.17	758.13	1 519 138.02

Los valores medios de módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) lograron resultados elevados, lo que confirma las propiedades mecánicas de este tipo. La segunda opción es la T4, por su característica de tener un núcleo metálico interno, lo que permite que la parte estructural no colapse en un punto. dijo en el trabajo de investigación titulado “Análisis experimental de ensayos de flexión aplicados a juntas de carpintería japonesa con juntas diagonales”, realizado en la Pontificia Universidad

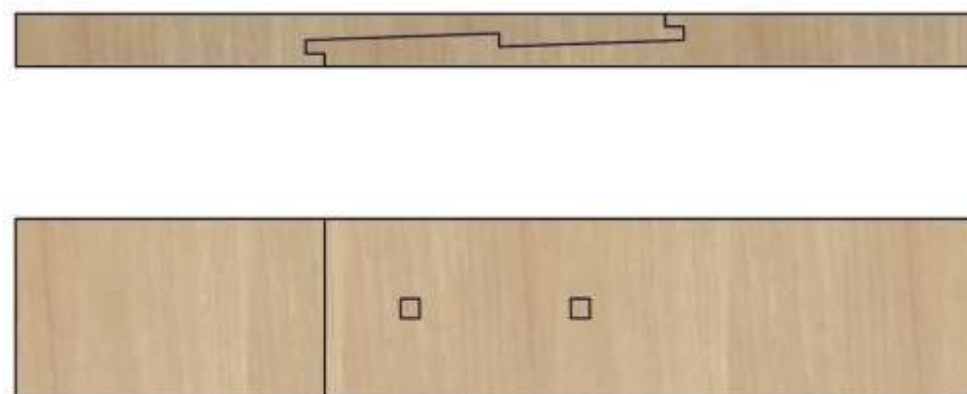
Católica de Chile, que la madera es un material finito, dependiendo del desarrollo de juntas en para lograr áreas más grandes. Las juntas de carpintería fueron el primer método utilizado para conseguirlo. Luego, con la Revolución Industrial, los ensamblajes automatizados que utilizaban tornillos metálicos y placas de fijación se volvieron extremadamente duraderos.

También son visibles las juntas pegadas que crean vigas laminadas. Hoy en día, gracias al control numérico automatizado, las juntas de carpintería han resurgido y recobrado su importancia. Sin embargo, se sabe poco sobre sus propiedades estructurales.

Ingeniería y Construcción (2020) Se informó que los resultados obtenidos en ensayos de flexión estática en uniones oblicuas verticales fueron mucho mejores que en uniones oblicuas. Estas últimas tienden a agrietarse con facilidad debido a la reducción de secciones, por lo que ya no funcionan con la misma capacidad para resistir esfuerzos de flexión y perjudican el comportamiento general de la viga, generando cortes transversales, pero paralelos a las fibras. Por otro lado, las juntas diagonales japonesas verticales tienen mejores propiedades estructurales porque concentran la fuerza en la zona de compresión, mientras que la madera se comporta mejor en la zona de tensión. También se encontró que: Al comparar el módulo de ruptura de la viga de control y la viga con el conductor metálico, las uniones diagonales longitudinales japonesas, que son ligeramente mayores que la resistencia generada por el conductor metálico, son una alternativa comercialmente viable. Finalmente, según lo que se ha probado, no se recomienda el uso de estas uniones en grandes distancias. Se utilizan mejor en luces más cortas o en zonas de vigas cercanas a apoyos donde el momento es menor porque ninguno de ellos da el 100% de la resistencia al material utilizado entre ellos

Figura 1.

Uniones carpinteras japonesas de empalme oblicuo



2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Valenzuela Wilder. (2008) En la Universidad Nacional Agropecuaria de La Molina, Facultad de Ciencias Forestales de la Ciudad de Lima, realizaron la investigación sobre “Valor de diseño de conexiones atornilladas de doble cortante para siete tipos de bosque aptos para la construcción”, donde el objetivo general fue determinar el diseño valores de conjuntos estructurales atornillados que contienen elementos sometidos a cargas de doble cortante, paralelas y perpendiculares, en madera húmeda, de las siguientes especies: almendro (*Caryocar coccineum* Pilger), cachimbo (*Cariniana Domestica* Mart.), chimeca (*Pseudolmedia laevis* Marchb) , diablo fuerte (*Podocarpus oleifolius* D. (Don à Lambert), y manchinga (*Brosimun uleanum* mildbr), pumaquiro (*Aspidosperma Macrocarpon* Mart) y (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke), las pruebas se realizaron según ASTM D1 761-74. La evaluación se realizó comparando los resultados obtenidos con el rango de clasificación de conexiones atornilladas en madera aserrada peruana y con valores generales para pino oregón (*Pseudotsuga menziessii* (Mirb) Franco). Las especies estudiadas mostraron buena idoneidad para su uso en conjuntos atornillados, destacando la especie tornillo y cachimbo.

Vila Mariano. y Meléndez Miguel (2016) estudiado para determinar la carga permisible de uniones de clavos de caña simple y de tallos helicoidal, sometidas a corte simple y doble sobre muestras de madera de tres especies forestales de la familia Bombacaceae. Para un corte simple obtuvieron los siguientes valores: En madera de Ceiba samauma (Mart.) Schum.(Humimba Negra), encontraron una resistencia de 708 kg con incrustación de lengüeta regular y 1258 kg con incrustación de espiral; En la madera del pato bicolor Matizia. El Sabot Thing consiguió una resistencia de 993 kg con clavos de caña lisa y 1489 kg con clavos de caña en espiral y en madera Matisia cordata Humb. Y Bonbell. (zapote) obtuvo una resistencia de 857 kg con púas de caña lisa y 1232 kg con clavos de caña en espiral.

Los mismos autores señalan que en uniones estructurales clavadas con cizallamiento doble, en muestras de madera de tres especies forestales de la familia Bombacaceae, obteniendo los siguientes valores: en madera de Ceiba samauma (Mart.) Schum. (huimba negra), obtuvieron 1253 kg de resistencia con clavos de caña lisa y 1778 kg con clavos de caña helicoidal; en la madera de Matisia bicolor Ducke. (machin zapote) obtuvieron una resistencia de 1442 kg con clavos de caña lisa y 1802 kg con clavos de caña helicoidal y en la madera de Matisia cordata Humb. Et Bonpl. (zapote) obtuvo una resistencia de 1043 kg con clavos de caña lisos y 1456 kg con clavos de caña en espiral, caña helicoidal. Los estudios fueron realizados en la ciudad de Lima en la UNAL; observando una ventajosa diferencia por el uso del clavo de caña helicoidal. Los ensayos y cálculos respectivos se efectuaron de acuerdo a las consideraciones de la Norma ASTM D1761-74 y la Sección de Construcciones Forestales del Departamento de Industrias Forestales. Así mismo discutieron el comportamiento de las uniones estudiadas, analizando sus cargas máximas a través del experimento factorial 3A2B2C, bajo un diseño completamente randomizado.

Alcántara Fabio (2019) citado por Ramirez T (2024) afirmaron que eligieron las especies de cachimbo y copaiba, por sus propiedades mecánicas y precios razonables en el mercado peruano, siendo ciertamente el objetivo las propiedades mecánicas de las uniones con estos clavos en la madera (*copaifera officinalis*). En primer lugar, se desarrollaron pruebas de resistencia al corte para conectores (100) y arrancadores de pernos de corcho (60) de acuerdo con las instrucciones de las normas ASTM D-1761, Nch 1198, y arrojaron los siguientes valores: valor de carga máxima y deformación, carga y deformación según relación límite y carga de diseño para cada eslabón esperado. De hecho, se encontró que la conexión tirafón copaiba cumple con los estándares estructurales recomendados para su uso en la construcción.

Lope Jhony (2018), en su investigación realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería, determinó que la carga máxima en corte simple paralelo a la fibra en uniones atornilladas utilizando madera de cumala siendo su densidad básica de 0,38 g/cm³, y la carga existente es de 687,35 kg usando tornillos de 1/4 de pulgada de diámetro.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. El elemento de sujeción (clavo)

Según Castineira Néstor (2013), el tornillo existe desde que el ser humano comenzó a trabajar con metales y su uso sigue siendo común en la actualidad. Para cada tipo de trabajo con madera y otros materiales existen tipos de clavos específicos.

Hay algunos que son muy populares, mientras que otros son menos comunes, pero todos tienen la tarea principal de mantener juntas dos partes separadas. Sin embargo, a pesar de esta sencillez, aún quedan algunas cosas por considerar, lo primero a considerar es la retención. Las uñas crean presión a través de la fricción, por lo que los

elementos metálicos largos y gruesos podrán soportar la presión mejor que los elementos pequeños y delgados. Además de los clavos normales que están hechos de varillas de metal y, por tanto, tienen una sección transversal circular, también existen clavos con barras retorcidas o irregulares para mejorar el agarre. También depende mucho de la naturaleza del material con el que está fabricado y sus requisitos. Clavo y el tipo de unión se hallarán sometidos. Siempre que sea posible estas solicitaciones deberían ser siempre paralelas o perpendiculares al eje del clavo.

Castineira Néstor (2013) explica que en carpintería es ideal, si se quiere lograr una correcta fusión, pegar las superficies de contacto antes de fijarlas con clavos. Este es el proceso básico: clavar y pegar, agrega además que los clavos contienen tres partes básicas que determinan las propiedades que los hacen aptos para cada tipo de trabajo en particular, y estas tres partes se suman a los materiales necesarios para su construcción y acabado.

Figura 2.

Partes del clavo



Según Castineira Néstor (2013) un clavo consta de las siguientes partes:

La cabeza es la parte del clavo que es golpeada con un martillo, o en el caso por las herramientas neumáticas o eléctricas para clavar.

El cuerpo del clavo, es la parte que realiza la mayor parte de la fijación. El cuerpo es introducido por la fuerza entre las fibras de la madera y éstas lo presionan manteniéndolo en su sitio. Esto explica por qué es tan difícil sacar un clavo de la madera.

La punta del clavo es mucho más importante de lo que parece a primera vista. Aparte de las formas recomendadas para los trabajos más habituales, también las hay especiales para evitar que la madera se rompa y diseñadas para doblar el clavo cuando penetre la madera.

Los clavos pueden ser “sin acabado”, con capa cementada, galvanizados, de acero inoxidable o de aluminio. Estos diferentes acabados, recubrimientos o materiales dan al clavo diferentes niveles de resistencia a la oxidación o especiales características apropiadas para determinados trabajos (Castineira Néstor, 2013).

2.2.1.1. Tipos de clavo

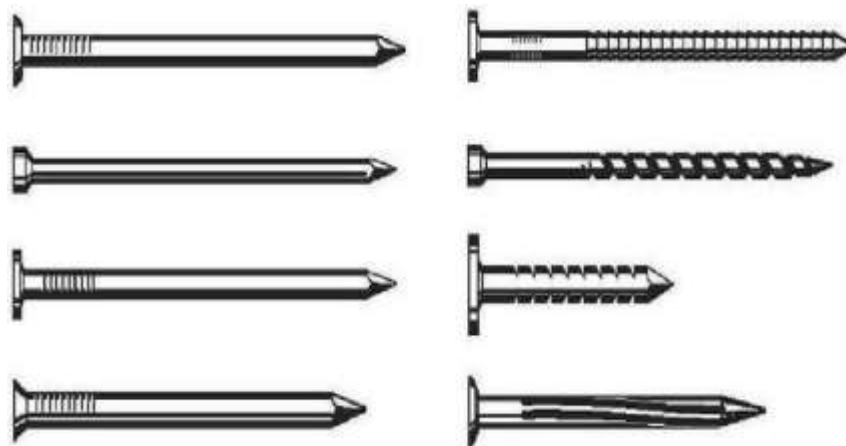
Corrales Atilio (2018) manifiesta que en el mercado existen tipos de clavos de cabeza más utilizadas, entre ellos describe los siguientes tipos:

1. **Cabeza plana:** a veces lleva un entramado diagonal; aunque afirman bien, se disimulan con dificultad y tienden a rajar la madera.
2. **Cabeza ovalada:** una pequeña cabeza sirve de tope, quedando a ras de la superficie; se utiliza en clavos de terminación, para carpintería en situaciones en donde se requiere dejar las cabezas cubiertas.
3. **Cabeza reducida:** similares a los de cabeza ovalada, los clavos con cabeza reducida suelen reemplazarlos debido a que son más resistentes y a que su cabeza se embute más fácilmente.

4. **Cabeza de copa:** diseñadas para clavos para planchas de yesocartón; no cortan el cartón de la superficie de la plancha y produce una depresión de forma regular, fácil de disimular rellenándola con base para juntas.
5. **Cabeza cónica:** se emplean para fijación de tableros manufacturados.
6. **Puntas:** muy delgadas, su cabeza cónica, apenas insinuada, no agrieta la madera. Se usan en carpintería fina y cuando se quiere conseguir uniones casi invisibles. Especial para fijar tableros, paneles de madera terciada, puertas y ventanas, rodones, molduras y chapas.
7. **Cabeza cortada:** de formas rectas (no redondeada), se fabrican a partir de una chapa metálica (no alambre); se usan para fijación de entarimados de piso, pues sujetan firmemente y no suelen rajar la madera.
8. **Clavos de espigas:** no tienen cabeza, sólo su espiga con 2 puntas (una a cada lado); se emplean en uniones de tope y ocultas. Se introduce una de las puntas en una de las piezas (hasta la mitad del clavo) y se clava luego la otra punta (la que quedó sobresaliendo) en la segunda pieza.

Figura 3.

Tipos de clavos para hacer uniones con madera



2.2.1.2. Dimensiones de los clavos

Los clavos de acero con cabeza son elementos de acero fabricados de alambre de acero y se fraccionan en tres partes: cabeza, clavo y punta. Se usan en todo tipo de construcción y productos de madera. Los clavos se especifican por su longitud y grosor o diámetro. (Aceros Arequipa, 2023).

Tabla 2.

Dimensiones de los clavos para madera

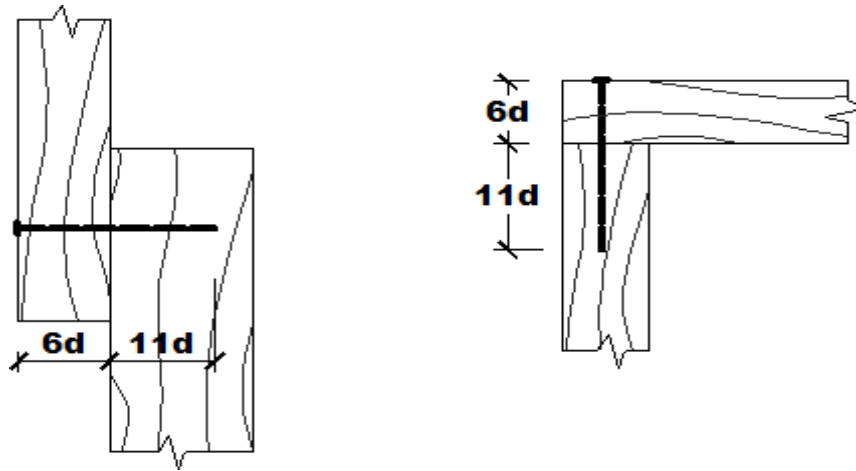
Longitud (L)		Diámetro (d)	Longitud (L)		Diámetro (d)
mm	Pulg.	mm	mm	Pulg.	mm
51	2"	2.4	76	3"	3.3
		2.6			3.7
		2.9			4.1
		3.3			3.7
63	2 ½"	2.6	89	3 ½"	4.1
		2.9			4.5
		3.3			4.1
		3.7	102	4"	4.5
					4.9

2.2.1.3. Profundidad de penetración de clavos

Se define como profundidad de penetración efectiva del clavo a la parte de su longitud que penetra la pieza que recibe la punta del clavo, como lo ilustra la figura 4 (Bellido José, 2023).

Figura 4.

Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento simple



2.2.1.4. Espaciamiento del clavado.

Se deben colocar respetando los espacios mínimos que se muestran en la figura.5, Teniendo en cuenta el ángulo que forma la dirección de la fibra con la dirección de la fuerza. La distancia óptima no debe exceder los 40 d en el sentido de la veta y normalmente los 20 d en ese sentido (Bellido José, 2023).

Figura 5.

Espaciamiento del clavado

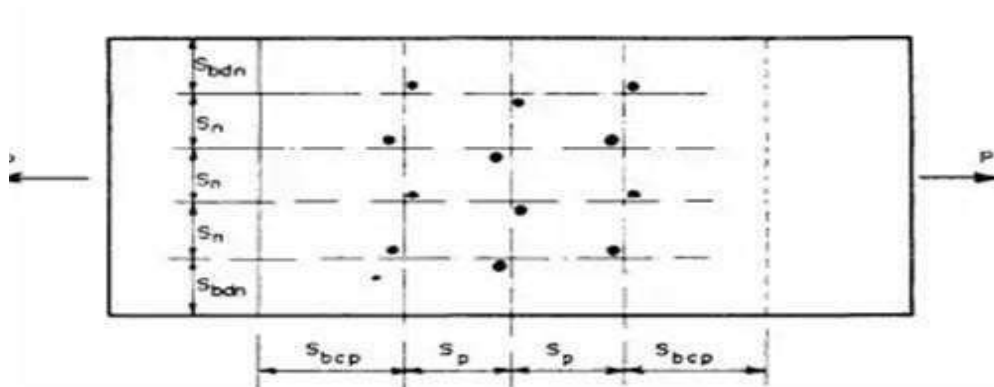


Tabla 3.

Espaciamiento mínimo para simple cizallamiento o doble cizallamiento clavado de un solo lado.

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano		{	Espaciamiento entre clavos		16d
				Distancia al extremo		20d
	Perpendicular a la dirección del grano		{	Espaciamiento entre líneas de clavos		8d
				Distancia a los bordes		5d
Elementos cargados perpendicular al grano	A lo largo del grano		{	Espaciamiento entre clavos		16d
				Espaciamiento entre líneas de clavos		8d
	Perpendicular a la dirección del grano		{	Distancia al borde cargado		10d
				Distancia al borde no cargado		5d

Tabla 4

Espaciamiento mínimo para simple cizallamiento con pretaladrado o doble cizallamiento simétrico

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano		{	Espaciamiento entre clavos		16d
				Distancia al extremo		20d
	Perpendicular a la dirección del grano		{	Espaciamiento entre líneas de clavos		8d
				Distancia a los bordes		5d
Elementos cargados perpendicular al grano	A lo largo del grano		{	Espaciamiento entre clavos		16d
				Espaciamiento entre líneas de clavos		8d
	Perpendicular a la dirección del grano		{	Distancia al borde cargado		10d
				Distancia al borde no cargado		5d

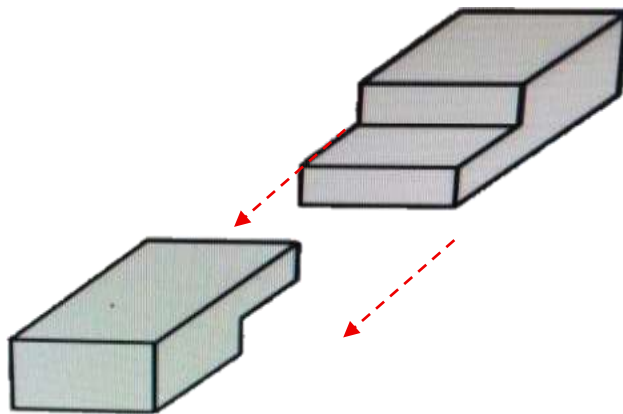
2.2.2. Tipo de uniones en madera

Empalmes

Los empalmes son aquellas uniones en un solo sentido realizadas a través de sus testas (Aira, 2013), mencionado por INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES, 2020). Su objetivo es extender la longitud de una pieza, ya sea la luz de una viga, la altura de un pilar, etc.

Figura 6.

Empalmes en madera

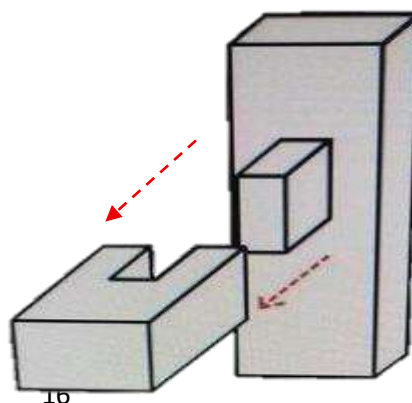


Ensamblajes

Los ensamblajes son uniones en varios sentidos. Dichas uniones forman ángulos entre sí (Aira, 2013, mencionado por INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES, 2020). Los ensamblajes se dan en casos de uniones entre vigas y pilares, vigas con vigas en diferentes sentidos, cerchas, etc.

Figura 7.

Ensamble en madera

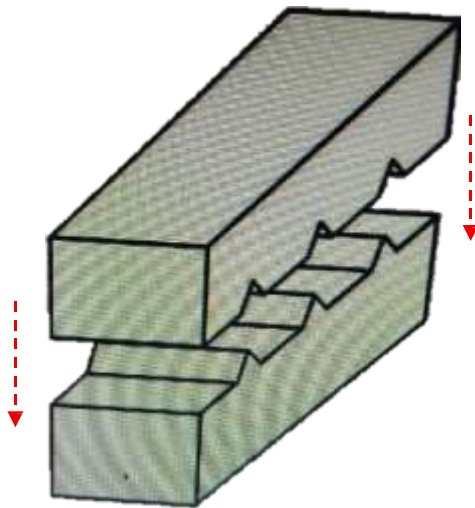


Acoplamiento

Los acoplamientos son aquellas uniones que se realizan a través de sus caras o sus cantos en una misma dirección (González et al, 2019, mencionado por INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES, 2020)). El objetivo principal es lograr una dimensión mayor de contacto, con la finalidad de obtener una pieza más reforzada.

Figura 8.

Acoplamiento en madera



2.2.3. Uniones clavadas

Corrales Atilio (2019) menciona que al estudiar con detalle las uniones estructurales que conforman una edificación ya que estas constituyen los puntos débiles de una estructura. Para ello se hace indispensable conocer las propiedades físico mecánicas de los materiales que conforman dicha unión, en este caso la madera y el clavo. Al ser la madera un material anisótropo, el estudio del diseño de las uniones se hace complicado pues sus propiedades resistentes varían con la dirección que se desea analizar. Así mismo señala que antiguamente las uniones clavadas las hacían los carpinteros de oficio y por tal razón se ignoraba la capacidad de carga que podía soportar la unión. No era necesario el uso de muchos accesorios, a diferencia de las uniones

mecánicas modernas y por lo tanto estéticamente lucían mejor, pero ahora ya no se les da mucho uso. Las hipótesis asumidas para el cálculo han sido en general simples, pero suficientemente avaladas por la experiencia. Además, en su diseño y cálculo ocupa un lugar preponderante en la comprobación de las tensiones generadas entre las piezas enlazadas.

Corrales Atilio (2019) manifiesta que a nivel internacional y también en Perú las uniones clavadas, en las cuales la distribución de esfuerzos implica el comportamiento en flexión del clavo y la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a las fibras de la madera, así como el comportamiento al corte de la madera, son las más importantes. Hay otros tipos de conexiones mecánicas empleados en estructuras, tales como las uniones construidas con anillos, placas de corte, placas dentadas o perforadas, entre otras, las cuales generalmente involucran una superficie importante de madera en la transmisión de los esfuerzos.

El mismo autor, señala que las investigaciones sobre uniones clavadas han sido extensas en varios países desde los años 50, pero debido a las distintas prácticas constructivas, a las diferencias entre tipos de clavos y especies madereras en cada uno de ellos, las uniones clavadas también difieren. El uso de los clavos por ser los más simples para unir maderas, inicia aproximadamente en el siglo XVI de forma empírica. Sin embargo, en estos últimos años la técnica de uniones clavadas se ha desarrollado particularmente en Europa y en Estados Unidos. Se ha contribuido mucho con el estudio de las uniones estructurales. Según Scholten, quien experimentó con clavos de caña lisa que la resistencia a la extracción aumenta con la gravedad específica de la madera, comprobando que un incremento de un 25% de gravedad específica es acompañado de un 75% de incremento de resistencia. Sobre el mismo acápite, se realizaron estudios sobre "Quinilla Colorada" y se observó que durante las pruebas de carga lateral la

extracción de clavos comienza a partir del momento en que la carga pasa el límite de proporcionalidad. Se aportó mucho al conocimiento de las construcciones de madera y se considera a la estructura clavada como económica, versátil, resistente y elástica, pudiendo soportar cargas estáticas como dinámicas y adaptarse tanto a estructuras provisorias o definitivas.

Según Sargiotti R. (2010) citado por Corrales Atilio (2019) señalan que las cualidades anteriormente mencionadas se hicieron más estudios sobre resistencia de uniones clavadas, que en mayor o menor grado han contribuido a su desarrollo. Se advierte que uno de los puntos más complejos del dimensionamiento de estructuras de madera es el diseño de las uniones, pues resulta importante reconocer que el comportamiento de las uniones clavadas depende no sólo de las características de la madera sino también de la orientación de la carga con respecto al elemento de unión y de éste con respecto a las fibras de la madera.

Corrales Atilio (2019) manifiesta que las uniones clavadas más eficaces son las que aprovechan la capacidad para transmitir fuerza lateral, y que este tipo de uniones son sencillas y económicas, siendo usadas con preferencia en estructuras ligeras en las que el grosor de las piezas por unir es inferior a unos 5 cm. El mismo autor, recomienda el uso de uniones clavadas en estructuras de viviendas u otras edificaciones pequeñas, construidas a base de entramados, pues resultan ser generalmente las más económicas

Sierra Mauricio (2013) pone de manifiesto que por lo general este tipo de uniones con clavos son las más económicas, y son usadas especialmente para la construcción de casas y edificios pequeños contruidos sobre cimientos de armazón en base a entramados. Los clavos se fabrican en varios tamaños y formas según el uso previsto. Varían en tamaño de pequeño a grande. Los clavos se clavan mediante un martillo, sin embargo, para clavar muchos clavos, actualmente se cuenta con una gran variedad de

dispositivos mecánicos para clavar. Todas las especies del grupo estructural C y muchas del grupo B pueden clavarse fácilmente, sobre todo cuando la madera se encuentra en condición verde; las maderas más densas y/o secas son por lo general más difíciles de clavar. Si se clavan maderas del grupo estructural A es conveniente hacer un pretaladro con un diámetro del orden de 0.8 veces el diámetro del clavo, esto a menos que se usen clavos de alta resistencia, clavados mediante dispositivos mecánicos especiales. Se debe hacer notar que en cualquier unión se debe usar como mínimo al menos 2 clavos.

Robles y Echenique (1989) citado por Vila Mariano y Meléndez Miguel (2016) sostienen que las uniones clavadas más eficaces son las que aprovechan la capacidad para transmitir fuerza lateral, y que este tipo de uniones son sencillas y económicas, siendo usadas con preferencia en estructuras ligeras en las que el grosor de las piezas por unir es inferior a unos cinco centímetros

Stern y Stoneburner citados por Vila Mariano y Meléndez Miguel (2016) indican que ensayos hechos con juntas de madera seca, resisten mayores cargas que las confeccionadas con maderas verdes, pero aumenta la tendencia al rajado.

Centeno (1976) citado por Vila Mariano y Meléndez Miguel (2016) señalan que la capacidad estructural de una unión clavada o empernada depende principalmente de las propiedades del elemento de unión, clavo o perno, las propiedades de la madera, la interacción creada por la combinación y distribución de los factores anteriores y el tipo de esfuerzo aplicado.

2.2.4. Factores que afectan la resistencia de una unión clavada.

2.2.4.1. Dirección de la carga con respecto al grano.

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene una influencia bien marcada en el comportamiento de

los elementos estructurales. La inclinación de la fibra puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la inclinación longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado presentan grano inclinado. (JUNAC 1984, citado por Corrales Atilio, 2018).

2.2.4.2. Contenido de humedad de la madera.

La principal circunstancia que se debe tener en cuenta respecto al contenido de humedad en la madera estructural es que, en general, cuanto mayor sea dicho contenido menor es la resistencia y mayores son las deformaciones que se producen por fluencia. En una unión clavada la diferencia en su resistencia no es de importancia siempre que el contenido de humedad se mantenga durante el tiempo de servicio de dicha unión. Por otro lado, los cambios en el contenido de humedad de la madera también provocarán ciertos cambios dimensionales. Es la característica más importante porque su valor para la misma especie de madera afecta todas las demás características físicas o mecánicas, en su estabilidad dimensional y resistencia frente al ataque de seres vivos (Corrales Atilio, 2018).

2.2.4.3. Número de clavos.

Con respecto a esta variable han aparecido muchos criterios, pero últimamente algunos estudios muestran que hay una relación lineal de resistencia para uniones con hasta 20 clavos. Se sabe que las uniones clavadas se reservan para solicitaciones relativamente bajas por lo que se puede concluir que su límite de utilización está determinado por el requerimiento de un número excesivo de clavos, lo

cual es incompatible con el tamaño de la unión. Según la Norma E. 010 para cargas admisibles de uniones clavadas sometidas a cizallamiento se deberá considerar para el diseño que la carga admisible es directamente proporcional al número de clavos. (Corrales Atilio, 2018).

2.2.4.4. Diámetro del clavo

Lo primero que hay que tener en cuenta es la fuerza de retención. El clavo asegura la adherencia gracias al rozamiento; por tanto, un clavo largo y de mayor diámetro tendrá mayor retención que uno pequeño y de menor diámetro. "La característica del clavo que mayor incidencia tiene sobre la resistencia de la unión es su diámetro y él aparece en las distintas fórmulas que los diferentes países han establecido para determinar la resistencia a la extracción lateral de una unión clavada. Es la variable de la cual depende el valor del esfuerzo transmitido al elemento leñoso y la deformación de la unión". (Pérez V. 1978 citado por Corrales Atilio, 2018).

2.2.4.5. Espesor de las piezas.

El diámetro del clavo depende de los espesores de las piezas de madera que se van a unir. Muchas investigaciones han establecido que el espesor de los elementos que se unen incide también en la resistencia de la unión clavada. Otros, en cambio, se inclinan por establecer una zona limitada del espesor como influyente en la resistencia total de la unión. Además, la distribución de las tensiones transmitidas por un clavo de un diámetro dado a la madera, no depende del espesor de la pieza que constituye la unión (Pérez V. 1978 citado por Corrales Atilio, 2018).

2.2.4.6. Densidad de la madera.

"La resistencia de una unión clavada depende principalmente de la densidad de la madera, que constituye la unión y su valor determina el aporte de la madera a la resistencia de la unión clavada" (Pérez V. 1978 citado por Corrales Atilio, 2018).

2.2.5. Criterios para calcular la capacidad portante

Corrales Atilio (2018) sostiene que el proyectista estructural dispone de expresiones provistas por las reglas de diseño para calcular la capacidad portante de las uniones clavadas. Esas expresiones se basan en criterios que interpretan el comportamiento mecánico de las uniones. El modelo desarrollado por Johansen (1949), luego expandido con los resultados de investigaciones posteriores, ha sido adoptado por numerosos códigos de diseño y ha alcanzado una trascendencia internacional destacada".

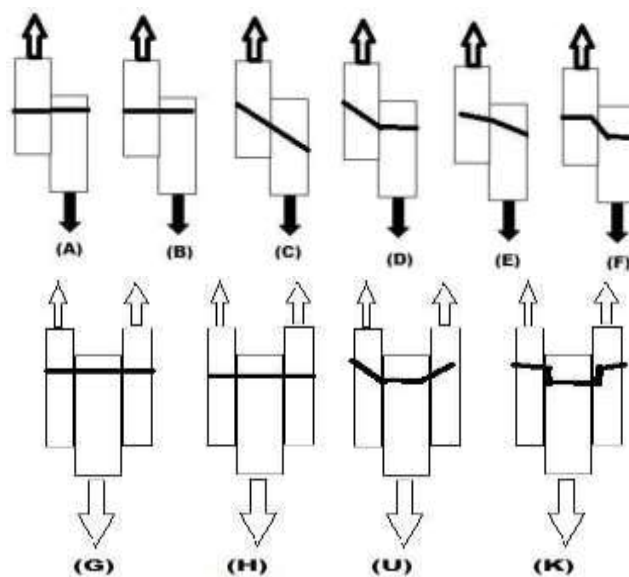
2.2.5.1. El modelo de Johansen

Corrales Atilio (2018) manifiesta que la resistencia de las uniones clavadas depende de la resistencia de la madera al aplastamiento del clavo (f_h) y de la resistencia del clavo a la flexión (M_y). Para la formulación de su teoría, Johansen supuso un comportamiento perfectamente plástico tanto para la madera como para el clavo, y verificó a través de ensayos que las fallas de los enlaces ocurrían de maneras diferentes. A partir de eso, Johansen utilizó el principio de equilibrio de fuerzas para desarrollar ecuaciones para cada modo de rotura. Möller reformuló las ecuaciones de Johansen para casos con diferentes espesores de piezas de madera y diferentes resistencias al aplastamiento.

El mismo autor, precisa los modos de falla se basan en la combinación de los fenómenos de aplastamiento de la madera en cada pieza y flexión del clavo. En la figura se puede apreciar que en las uniones con una sección de cizallamiento los modos de falla (a) y (b) supone el aplastamiento de la madera en uno u otro miembro contra el clavo, el cual no gira ni se deforma flexionalmente. En el modo (c) el aplastamiento de la madera se da simultáneamente con el giro del clavo sin deformar. Los modos (d), (e) y (f) suponen el aplastamiento de la madera y la formación de una rótula plástica en uno, en otro o en ambos miembros unidos. Por su parte, en las uniones con dos secciones de cizallamiento los modos (g) y (h) suponen el aplastamiento de la madera en los miembros laterales o en el central, respectivamente, ¡sin deformación flexional del clavo. Los modos (j) y (k) suponen el aplastamiento de la madera con la formación de rótulas plásticas en el miembro central o en los tres miembros, respectivamente. (Sosa, M.A. (2015) citado por Corrales Atilio (2018) .

Figura 9

Modos de rotura en una unión clavada



2.2.6. Descripción de la especie *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo).

La CONFEDERACION PERUANA DE LA MADERA (2008) citada por Méndez Angie (2020) realizaron una descripción somera pero completa de la especie y de la madera del cachimbo colorado,

1. Nombres y familia

Nombre internacional: Bacú (Ven).

Nombre científico: *Cariniana domesticata* Martius.

Sinónimos: *Couratari domesticata* Martius.

Nombre común: Cachimbo. **Familia:** LECYTHIDACEAE

2. Procedencia

Se encuentra distribuido en Guyanas, Panamá, Brasil, Venezuela, Colombia y Perú. En el Perú se encuentra en los departamentos de Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali. El Cachimbo se encuentra principalmente en bosques no inundados. Se desarrolla en las formaciones ecológicas de bosque muy húmedo premontano (bmh-P) y bosque húmedo tropical (bh-T). se presenta por lo general en zonas altas. Generalmente crece asociado con las especies *Xilopia sp.*, *Aniba sp.*, *Calycophyllum*.

3. Descripción del árbol en pie

Fuste recto y cilíndrico de buena conformación, con aletas basales. Altura total de hasta 22 m. Altura comercial de 17 m., d.a.p. de 50 cm. Corteza externa de color marrón oscuro, con ritidoma que se desprende en láminas fibrosas y deja una superficie lisa a fisurada de 4 cm. de espesor. La corteza interna es de color blanco cremoso de apariencia fibrosa, exhala un olor a aceite rancio.

4. Descripción de la madera

Color: La albura es de color rosado cremoso, transición gradual a duramen rojizo. **Brillo:** Bajo a mediano. **Grano:** De recto a entrecruzado. **Textura:** Media. **Veteado:** Jaspeado, satinado poco pronunciado, arcos superpuestos. **Olor:** Ausente o no distintivo.

5. Propiedades físicas

Densidad Básica: 0.59 gr/cm³, **Contracción volumétrica:** 12.10 %, **Relación T/R:** 1.50, **Contracción Tangencial:** 7.58 %, **Contracción Radial:** 4.96 %, **Sílice:** 0.52 %.

6. Propiedades mecánicas

Módulo de elasticidad en flexión: 1p31.00 tn/cm², **Módulo de ruptura en flexión:** 735.00 kg/cm², **Compresión paralela:** 342.00 kg/cm², **Compresión perpendicular:** 66.00 kg/cm², **Corte paralelo a las fibras:** 84.00 kg/cm², **Dureza de lados:** 468.00 kg/cm², **Tenacidad:** 3.90 kg-m

7. Características de la troza

Diámetro: Mayores a 25 pulgadas. **Forma:** Cilíndrica y regular. **Defectos:** Muy pocos. Trozas regulares sin defectos. **Conservación:** Susceptible al ataque de hongos e insectos por lo tanto se recomienda acortar el tiempo de almacenamiento en el bosque y aplicarle un tratamiento fungicida e insecticida.

8. Aserrío y secado

El aserrío es moderado por la presencia de sílice. La madera de Cachimbo es muy homogénea y con pocas tensiones en el aserrado. El efecto de desafilado se debe al contenido de sílice que es de mínimo a mediano. Permite obtener altas productividades (Méndez Angie, 2020).

El secado al aire libre es rápido presentando ciertos defectos de forma. Tablas de una pulgada de espesor se secan en 40 días. Buen comportamiento al secado con un programa suave de 10 días para un espesor de dos pulgadas. Buen comportamiento al secado artificial con programa severo en un tiempo de 55 horas resultando un producto de buena calidad (Méndez Angie, 2020).

9. Durabilidad natural y usos

Durabilidad natural: Es moderadamente resistente al ataque biológico Méndez Angie (2020),

Preservación: Se recomienda los tratamientos, inmersión para madera húmeda. Baño caliente-frío para madera seca y vacío de presión, se considera como fácil de tratar Méndez Angie (2020).

Usos: *Carpintería de interiores:* tabaquería, armarios, puertas, muebles. *Estructuras:* vigas, viguetas, pies derechos, columnas, tijerales. encofrados, pisos, molduras y machihembrados. Envases pesados. Mangos de herramientas. Artículos deportivos en general. Artesanía. Tiene una aptitud papelera aceptable.

2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

Cizallamiento. El esfuerzo cortante ocurre cuando dos fuerzas iguales, paralelas y de direcciones opuestas tienden a hacer que las superficies adyacentes de un miembro se deslicen entre sí. (Universidad de la Plata 2022)

Flexión estática. es la resistencia que ofrece la madera a la deformación, esta fuerza es mayor cuando es aplicada perpendicularmente a las fibras y mínima en las direcciones radial y tangencial. (Universidad de la Plata 2022)

Madera. Es un material ortótropo encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. (/equipo-editorial, 2023)

Módulo de elasticidad. Es la relación entre la tensión experimentada por un material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material cuando se somete a carga. (OSORIO, 2023)

Módulo de ruptura. Es el esfuerzo en el cual se produce la falla de la viga. Este criterio sirve para clasificar la madera según su resistencia a esfuerzos de ruptura. (Cahuana, 2022).

Uniones Clavadas. Unión, de dos partes o elementos unidos por un vínculo. (Uniones, 2012).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1. METODO DE INVESTIGACION

El método que se utilizó en la investigación fue experimental debido a que se realizaron ensayos de laboratorio y bajo las especificaciones de las normas técnicas ASTM-1761-74.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por 50 probetas para flexión estática y 50 probetas de cizallamiento simple paralelo al grano con uniones de madera obtenidas del aserrado de tres trozas de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo).

3.2.2. Muestra

Estuvo conformada 30 probetas para flexión estática y 30 probetas de cizallamiento simple paralelo al grano, elegidas aleatoriamente de la población. La Norma COPANT 458 señala que el tamaño de la muestra dependerá del grado de precisión que se desee lograr en los diferentes ensayos. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, bajo la Norma ASTM-1761-74.

3.3. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. Ubicación de la madera

La madera de *Cariniana domestica* Mart. (Cachimbo rojo), fue ubicada en tres diferentes aserraderos de Pucallpa, para evitar que las trozas provengan del mismo árbol, el volumen total de las tres trozas resultó 740 pies tablares, suficiente para elaborar las probetas de flexión estática y de cizallamiento simple paralelo al grano de la madera considerado en la población.

3.3.2. Transporte del material experimental

La madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fue transportada en una moto furgoneta al Taller de Carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.3.3. Re-aserrío de la madera

La madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fue re-aserrada en el Taller de Carpintería de la UNU, hasta lograr lo espesores deseados de las tablas que conformaron las probetas.

3.3.4. Secado de la madera

Las piezas de madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fueron estibadas para un secado al aire libre y cuyo contenido de humedad fue monitoreado mediante un higrómetro de clavos, hasta obtener ± 16 % de humedad, que es la humedad de equilibrio higroscópico de Pucallpa.

3.3.5. Caracterización del elemento de sujeción

Las características de los clavos fueron los siguientes:

Metal: Acero

Longitud: 2½"

Marca: Acero Arequipa

Tipo de caña

Diámetro: 2.9 mm

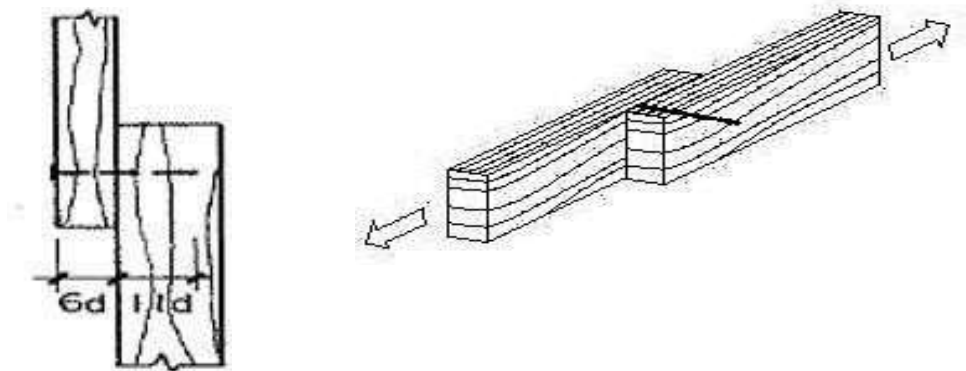
3.3.6. Elaboración de las probetas

3.1.1.1. Probetas de cizallamiento simple

Para la elaboración de las probetas de cizallamiento simple paralelo al grano de la madera constará de dos piezas de madera, cuyas dimensiones tuvo relación con el diámetro del clavo; el espesor de las piezas de madera adyacente a la cabeza del clavo fue más delgado cuyo espesor mínimo fue de 6 veces el diámetro del clavo y la madera que reciba la punta tuvo un espesor por lo menos 11 veces del diámetro del clavo, como se muestra en la figura 6, lo que garantiza una penetración real entre 11 veces el diámetro del clavo a utilizar. En ningún caso se deben aceptarse espesores o penetraciones menores que 50% de los 6D u 11D antes indicados. El número de clavos utilizados para elaborar las probetas fueron cuatro (4).

Figura 10.

Probeta para cizallamiento simple paralelo al grano



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

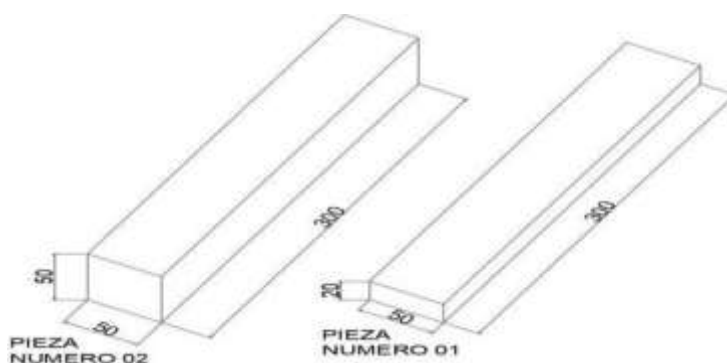
3.1.1.2. Probetas para probetas de flexión estática

Se obtuvo probetas para el ensayo de flexión estática para la cual se adoptó la norma NTP 251.017 donde se mencionó la determinación del esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico y el módulo de elasticidad de las probetas estándar y vigas laminadas de madera. También los tamaños de las probetas se adoptaron la norma e indicado en la ASTM 1761 por lo cual fue ensamblando cumpliendo con los requerimientos de espesores mínimos anteriormente mencionados y que se encuentran en la norma E.010 Maderas para los casos de cizallamiento simple.

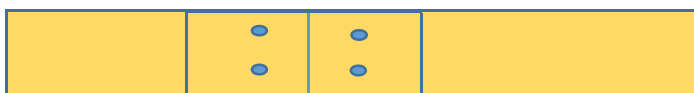
Para proceder con el ensamblaje de ambas piezas de madera de 50 mm de espesor, se unieron por la testa y a tope, ambas piezas en una longitud de 100 mm fueron traslapadas con la pieza de madera de 20 mm de espesor, como se visualiza en la figura 11. Para el presente ensamble se utilizaron clavos de la marca Aceros Arequipa de 2 ½", por ser el que cumple con los requerimientos mínimos de espesor para las medidas de las piezas de madera a ensayar.

Figura 11.

Medidas de las piezas de las probetas de flexión estática



Vista ensamblada de la probeta lista para ensayar



3.1.2. Ensayos mecánicos

3.1.2.1. Flexión estática

Para el ensayo de flexión estática tanto de las probetas como las probetas testigos, se utilizó la prensa universal Tinius Olsen de 30 toneladas de capacidad y se tuvo en cuenta las siguientes características:

- ✓ Cabezal de metal, con densidad no menor de 1 g/cm³
- ✓ Dispositivos de apoyo, de metal de aproximadamente 5 x 5cm.
- ✓ Deflectómetro, con carrera de 25 mm y precisión de 0.001mm.

Se aplicó la carga en la cara tangencial más cercana a la médula.

El eje del cabezal coincidió con el centro de luz de la probeta. Velocidad de la carga de 2.5 mm/min.

Se registraron las deflexiones en intervalos a conveniencia, hasta que se produzca la rotura de la probeta.

Se aplicó lo establecido en la norma NTP 251.010

Cálculo de módulo de ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{1.5 \times P_2 \times L}{b \times h^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Siendo:

MOR: Esfuerzo unitario máximo en Kg/cm²
P₂: Carga máxima en Kg.

b: Ancho de la probeta en cm. h
h: Altura de la probeta en cm.

Cálculo del módulo de elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{0.25 \times P_1 \times L^3}{b \times h^3 \times \Delta} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Siendo:

MOE: Módulo de elasticidad en Kg/cm²
Δ: Deflexión en el límite proporcional en cm.

P₁: Carga al límite proporcional en Kg.
L : Luz de la Probeta en cm.
b : Ancho de la probeta en cm.
h : Altura de la probeta en cm.

3.1.2.2. Cizallamiento paralelo al grano

Este ensayo también se realizó con la prensa universal Tinius Olsen de 30 toneladas de capacidad y se tuvo en cuenta las siguientes características:

Probeta con cara A y B, perpendiculares al grano; y C tangencial en 50 % de las probetas y radial en el otro 50%.

Velocidad de la cruceta móvil de 0.6 mm/min.

Se registró la carga máxima

Se aplicó lo establecido en la norma NTP 251.010.

3.4. TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.4.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos fue la observación directa en el laboratorio, análisis de documentos, grabaciones y transcripciones.

3.4.2. Instrumentos

Complementariamente se utilizaron calibradores de vernier para medir las secciones de las probetas, así mismo para determinar su contenido de humedad se usó un higrómetro de contacto, y para medir el cizallamiento simple en uniones clavadas paralelo al grano y la resistencia a la flexión estática, de utilizo una prensa universal de 30 toneladas de capacidad.

3.5. PROCESAMIENTOS DE DATOS

Los valores obtenidos de la resistencia máxima al cizallamiento paralelo al grano, el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad en flexión estática, en uniones clavadas fueron llevadas a una tabla Excel para ser ordenadas y tabuladas.

3.6. TRATAMIENTOS DE DATOS

Una vez determinado la resistencia promedio del módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de ruptura (MOR) en flexión de las probetas empalmadas y de los testigos, se aplicó la prueba estadística de dos medias de muestras independientes (prueba de T) para su comparación entre ellos. En el caso del cizallamiento paralelo al grano de la madera de las uniones estructurales clavadas, se determinó la resistencia máxima promedio y su respectivo coeficiente de variación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. FLEXION DE MADERA EMPALMADA CON UNIONES CLAVADAS

4.1.1. Módulo de elasticidad

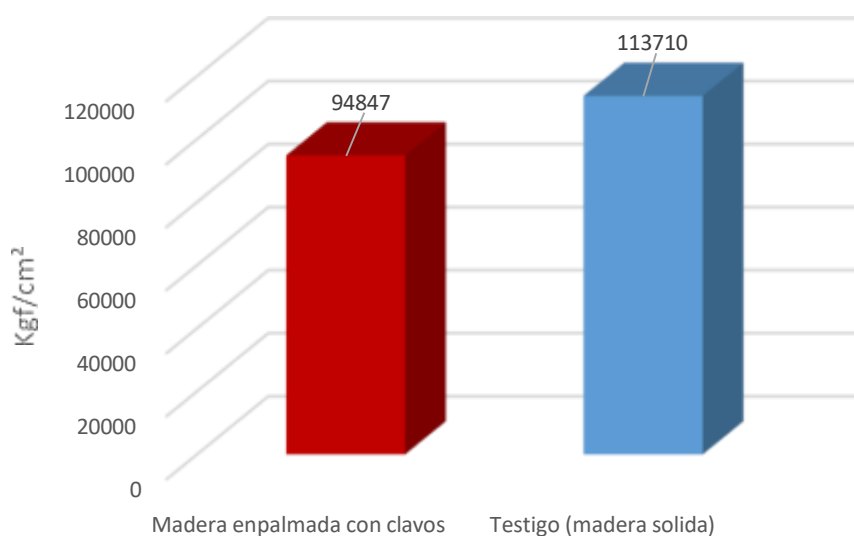
Tabla 5

Valores de módulo de elasticidad (MOE) en unión empalmada con clavos en madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo)

Estadísticos	Maderas empalmada clavos		Testigo (madera con solida)	
	MOE (kgf/cm ²)	%	MOE (kgf/cm ²)	%
Promedio	94847	83.41	113710	100
Desv. Estándar	15682	--	20124.25	--
C. V. %	16.53	--	17.70	--

Figura 12

Módulo de la elasticidad de la madera de cachimbo rojo empalmada con clavos de caña lisa.



En la tabla 5 y figura 12 se observa los valores promedios del módulo de elasticidad (MOE) de la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) empalmadas con clavos de caña lisa, cuyo valor promedio fue de 94847 kgf/cm² y el valor del MOE de la madera solida (testigo) de la misma especie, que tuvo un valor promedio de 113710 kgf/cm²; es necesario resaltar que el MOE de la madera empalmada con cuatro clavos de caña lisa representa el 83.41% de la rigidez total de la madera solida (100%).

Para determinar si el valor promedio del módulo de elasticidad (MOE) de la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) empalmada con clavos de caña lisa, difiere del valor promedio del MOE de la madera sólida (testigo), se realizó la prueba de comparación de dos medias de muestras independientes (prueba de T).

Tabla 6

Prueba de dos medias de muestras independientes del MOE de madera sólida y empalmada con clavo

Variables	MOE (kgf/cm ²)		T Obs.	T. Tab.	Nivel sig.
	Madera sólida	Madera empalmada con clavos			
<i>MOE de madera empalmada con clavos Vs. MOE de madera solida (testigo)</i>	113710	94847	2.978	2.024	*

La tabla 6 pone en evidencia que existe diferencias significativas entre los valores promedios de los módulos de elasticidad (MOE) obtenidos de una de una madera solida (testigo) y el MOE de una madera empalmada con clavos de caña lisa de madera de cachimbo rojo, resultando la madera solida mucho más rígida o más resistente a deformación que la pieza de madera empalmada.

Si se compara el módulo de elasticidad (MOE) encontrado por Macedo Israel (2018) en madera de pino en su trabajo denominado “Diseño y determinación de flexión estática en piezas estructurales de madera, en el que realizo ensayos para ver el comportamiento mecánico en flexión de uniones de madera, siendo uno de sus tratamientos unión de maderas sin alma, con este tratamiento obtuvo un módulo de elasticidad de 138 308.7 kgf/cm², resultando superior al MOE encontrado para la madera de cachimbo rojo empalmada con clavos de caña lisa. Los otros 3 tratamiento lo hizo uniendo maderas con almas metálicos, resultando el MOE muy superior al del tratamiento sin alma.

Estay Carlos (2020) realizó un trabajo sobre el análisis experimental de ensayos a flexión aplicados a uniones carpinteras japonesas de empalme oblicuo, sostiene que la madera al ser un material finito, depende de la elaboración de uniones para lograr luces mayores. Con la revolución industrial, comenzaron a cobrar fuerza las uniones mecanizadas a través de pernos y placas metálicas de anclaje. Actualmente, gracias al control numérico mecanizado, las uniones carpinteras, volvieron a surgir, cobrando importancia nuevamente.

Comparando sobre los valores establecido por JUNAC (1980) para módulos de elasticidad (MOE) de maderas del grupo B, al cual corresponde la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo), se distingue que están muy próximos a los valores de esfuerzos admisibles, cuyos valores son: de elasticidad mínimo (Emin.) 75000 kgf/cm² y para módulo de elasticidad promedio (Eprom) 100000 kgf/cm² y dentro del mencionado rango se halla los valores de la tabla empalmada.

4.1.2. Módulo de Ruptura

En la tabla 7 y figura 13 se observa los valores en promedio del módulo de ruptura (MOR) de la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) empalmadas con clavos de caña lisa, cuyo valor promedio fue de 719 kgf/cm² y el valor del MOR de la madera solida (testigo) de la misma especie, tuvo un valor promedio de 1163 kg/cm²; es necesario resaltar que el MOE de la madera empalmada con clavos de caña lisa representa el 61.8 % de la resistencia a la rotura de la madera solida (100%).

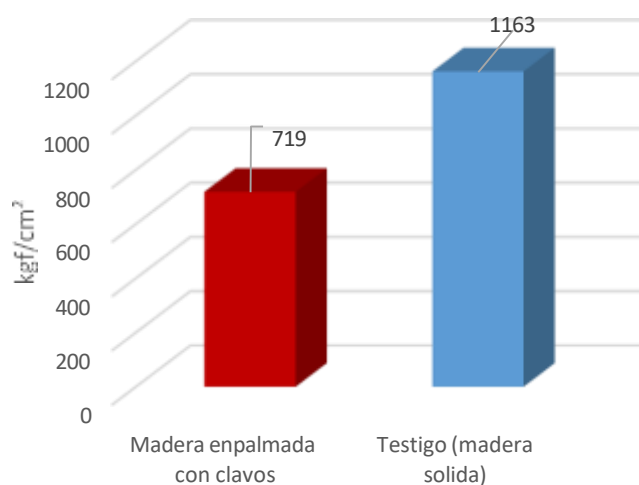
Tabla 7.

Valores del módulo de ruptura de madera de Cariniana domestica Mart (Cachimbo rojo) empalmada con clavos y el testigo o madera solida

Estadísticos	Maderas empalmada clavos		Testigo (madera con solida)	
	(kgf/cm2)	%	(kgf/cm2)	%
Promedio	719	61.8	1163	100
Desv. Estándar	258.73	--	222.46	--
C. V. %	33.21	--	19.14	--

Figura 13

Módulo de la ruptura de la madera de cachimbo unida con clavos



Para determinar si el valor promedio del módulo de ruptura (MOR) de la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) empalmada con clavos de caña lisa, difiere del valor promedio del MOE de la madera sólida (testigo), se realizó la prueba de comparación de dos medias de muestras independientes (prueba de T).

Tabla 8

Prueba de comparación de dos medias de muestras independientes del MOR de madera sólida y empalmada con clavos

Variables	MOR (kgf/cm ²)		T Obs.	T. Tab.	Nivel sig.
	Madera sólida	Madera empalmada con clavos			
<i>MOE de madera empalmada con clavos Vs. MOR de madera sólida (testigo)</i>	719	1163	6.45	2.49	**

La tabla 8 pone de manifiesto que existe una diferencia altamente significativa entre los valores del módulo de ruptura (MOE) de una madera sólida cuyo MOR fue de 1163 kgf/cm² y de una madera empalmada con clavos de caña lisa, que presento un MOR inferior de 719 kgf/cm²., lo que indica que la madera empalmada presenta muy baja resistencia a la rotura que la madera sólida.

Si se compara el módulo de ruptura (MOR) con el encontrado por Macedo Israel (2018) en madera de pino en su trabajo denominado “Diseño y determinación de flexión estática en piezas estructurales de madera”, en el que realizo ensayos para ver el comportamiento mecánico en flexión de unión de maderas con cuatro tratamientos; uno de los tiramientos fue la unión de maderas con alma de malla galvanizada obteniendo un módulo de ruptura de 758.13 kgf/cm² y otro tratamiento fue la unión con solera de acero,

resultando el módulo de ruptura de 823.78 kgf/cm², en ambos el MOR resulto similar al MOR de la madera empalmada de cachimbo rojo (719 kgf/cm²).

Ingeniería y Construcciones, (2020) comparando los módulos de ruptura de la viga de control y la viga con conector metálico, los empalmes oblicuos japoneses verticales, al encontrarse levemente por sobre los esfuerzos logrados por los conectores metálicos, se consideran una alternativa viable en el ámbito comercial. Por último, de acuerdo a lo ensayado, no se recomienda el uso de estos empalmes en grandes luces. Lo mejor es utilizarlas en luces menores o en las zonas de la viga cercanas a los apoyos, donde los momentos son menores, dado que ninguno de los dos devuelve el 100% de resistencia al material para utilizarse en el centro del vano.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIONES, (2020) menciona que cuando las vigas trabajan a flexión es preferible no realizar empalmes. Sin embargo, la madera es un material finito y requiere de uniones si se habla de maderas aserradas o cepilladas. Por lo tanto, para extender luces y unir vigas por sus testas, se recomienda empalmar la viga en los momentos nulos de la curva. No obstante, se debe tener especial cuidado con los esfuerzos cortantes elevados.

Al respecto, las uniones más utilizadas para maderas, son los conectores metálicos. Esto, replicado en varios elementos, produce un sobrepeso de la estructura. Además, ante el fuego, estos conectores se transforman en puntos débiles de la estructura. Por esta razón, resulta necesario investigar el uso de empalmes con el uso exclusivo de la madera (INGENIERÍA Y CONSTRUCCIONES, 2020).

4.2. RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO EN UNIONES CLAVADAS

Tabla 9

Resistencia máxima al cizallamiento simple en uniones estructurales clavadas en madera de cachimbo

Estadístico	Resistencia al cizallamiento simple paralelo al grano
Promedio (kgf)	2295
Numero de clavos	04
Carga/clavo (kgf)	573.76
Desv. estándar (kgf)	372.01
C.V. (%)	16.21

En la tabla 9 se observa el valor promedio de la carga máxima que soporta una unión estructural clavada de madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) paralelo al grano, el valor alcanzado es de 2295 kg-f, con un coeficiente de variación de 16.21%. Es necesario precisar que la unión estructural estuvo armada con 4 clavos por lo tanto cada clavo soporto una carga de 573.76 kgf

Si se compara la resistencia al cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas con clavos de caña lisa en madera de cachimbo rojo (2295 kgf/cm²), con los obtenidos por Vila Mariano. y Meléndez Miguel (2016), quienes determinaron las cargas admisibles para uniones con clavos de caña lisa y helicoidal, sometidas a simple y doble cizallamiento en probetas de madera de tres especies forestales de la familia Bombacaceae. Para cizallamiento simple obtuvieron los siguientes valores: en madera de *Ceiba samauma* (Mart.) Schum. (huimba negra), encontraron 708 kg de resistencia con clavos de caña lisa y 1258 kg con clavos de caña helicoidal; en la madera de *Matisia bicolor* Ducke. (machin zapote) obtuvieron una resistencia de 993 kg con clavos de caña lisa y 1489 kg con clavos de caña helicoidal y en la madera de *Matisia cordata* Humb. Et Bonpl. (zapote) obtuvieron una resistencia de 857 kg con clavos de caña lisa y 1232 kg con clavos

de caña helicoidal. Cabe precisar que el valor del cizallamiento simple para cachimbo rojo es superior al de las maderas de la familia bombacaceae que por lo general son maderas de baja densidad y maderas blandas, razón por el cual la resistencia al cizallamiento en la unión en cachimbo rojo soporta mayor carga.

A todo esto (Sargiotti, 2010), complementa que el comportamiento de las uniones clavadas depende no sólo de las características de la madera sino también de la orientación de la carga con respecto al elemento de unión y de éste con respecto a las fibras de la madera. Por su parte Centeno (1976) complementa que la capacidad estructural de una unión clavada o empernada depende principalmente de las propiedades del elemento de unión, clavo o perno.

La humedad de la madera también juega un rol importante en la resistencia en uniones estructurales de madera, tal es así que Stern y Stoneburner citado por Vila Mariano. y Meléndez Miguel (2016), precisa que juntas de madera seca, resisten mayores cargas que las confeccionadas con maderas verdes, pero aumenta la tendencia al rajado. Sánchez (2016) complementa indicando que la carga máxima se ve afectado en cuanto mayor sea dicho contenido de humedad menor es la resistencia y mayores son las deformaciones, porque sus valores influyen sobre todas las demás propiedades físicas o mecánicas, además, estos factores también se incluyen el número, el diámetro de los clavos, como también la densidad y el espesor de piezas de madera.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se han logrado hallazgos importantes que facilitan el análisis de la resistencia a la flexión estática y cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas en la madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo), lo que ayuda a entender mejor cómo se comporta estructuralmente.
- La resistencia a la flexión estática en uniones empalmadas con clavos de acero de caña lisa en madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fue el siguiente: el módulo de elasticidad (MOE) fue de 94847 kgf/cm², que difiere y representa el 83.41 % del MOE de madera solida o testigo. En cuanto al módulo de ruptura (MOR) alcanzó 719 kgf/cm², difiere y representa el 68.1 % del MOR de madera solida o testigo.
- La resistencia máxima promedio al cizallamiento paralelo al grano en uniones estructurales clavadas en madera de *Cariniana domestica* Mart (Cachimbo rojo) fue de 2295 kgf, con un C.V. de 16.21 %. Se puede decir que la resistencia fue de 573.76 kgf/clavo.

5.2. RECOMENDACIONES

- No se recomienda el uso de estos empalmes en grandes luces, lo mejor es utilizarlas en luces menores o en las zonas de la viga cercanas a los apoyos, donde los momentos son menores
- Por su valor de carga máxima al cizallamiento simple con uniones clavadas, se recomienda el uso para columnas, columnetas y para uniones de piezas menores en interiores y para carpintería y otros productos relacionados.

- Realizar el ensayo de flexión con reforzamientos de empalmes (chapas), cizallamiento simple y doble para uniones con clavos en madera de otras especies poco conocidas y brindar información tecnológica.
- Realizar más ensayos con otros tipos de uniones metálicas de diferentes medidas para ver cómo afecta a sus esfuerzos admisibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara Fabio (2019). Uniones estructurales con tirafones en madera copaiba (copaifera officinalis). Tesis de pregrado para optar título de Ingeniero Civil. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4994>
- Aróstegui, A., Sato, A., González, V., Valenzuela, W. y Lao, R (1975). Estudio Tecnológico de Maderas de Perú Vol. 111, Características Tecnológicas y usos de la Madera de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. Lima.
- Arostegui Vargas Antonio. (1982). Recopilación y análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas., Documento de trabajo.
- Castineira Néstor. 2013. Taller de ciclo básico. Visto el 10 de junio del 2024. Disponible en: https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/unionclavad/unionesclavadas.htm#google_vignette
- Centeno, J. C. (1976). Características mecánicas de uniones clavadas y empernadas de 20 especies de la Guayana Venezolana. Mérida-Venezuela. 23 p. obtenido de: <https://pdfs.semanticscholar.org/1cde/927e412ddc38f125c90aa96fa0f29ec61d89.pdf>
- CONFERDETACION PERUANA DE LA MADERA (CPM). (2008). Compendio de información técnica de 32 especies forestales. Tomo II. 10 de julio del 2024. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1458597/2.%20Compendio%20de%20informaci%C3%B3n%20técnica%20de%2032%20especies%20Forestales%20Tomo%20II.pdf.pdf>
- Caslina Sanchez Y. (2021) "Uniones estructurales clavadas con madera pashaco (Albizzia sp.)". Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en: [file:///C:/Users/DECANATURA-FCSFYA/Downloads/corrales_pa%20\(32\).pdf](file:///C:/Users/DECANATURA-FCSFYA/Downloads/corrales_pa%20(32).pdf)

- Domínguez Lorenzo Manuel. (2015). Estudio de Uniones en Estructuras de Madera con uso de Elementos Clavija, Tesis Doctoral, Zamora
- Herrera, G. F. (2016). Clasificación Estructural de la madera Pashaco (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES. (2020). Análisis experimental de ensayos a flexión aplicados a uniones carpinteras japonesas de empalme oblicuo. Disponible en: https://www.madera21.cl/wp-content/uploads/2020/08/PPT_ING5074.pdf?x21705
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. (1984). Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, Lima.
- Lazarte Farfán, José. (1998). Estudio de Mercado de Especies Seleccionadas, Volumen 11. Productos Evaluados. Lima. Obtenido de: [file:///C:/Users/DECANATURA-FCSFYA/Downloads/corrales_pa%20\(31\).pdf](file:///C:/Users/DECANATURA-FCSFYA/Downloads/corrales_pa%20(31).pdf)
- Macedo Israel. (2018). Diseño y determinación de flexión estática en piezas estructurales de madera. Tesis para obtener grado de maestro en ciencias y tecnología de madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Pérez Galaz, Vicente Antonio. (1978). Uniones clavadas para construcciones en madera. (Informe Técnico). Santiago,
- Puchaicela Cesar Andrés. (2013). “Estudio de la estructura anatómica y propiedades físico mecánicas de cinco especies maderables en bosques secundarios del Cantos Zamora”, tesis de pre grado Universidad Nacional la Joya 161pg.
- Sargiotti R. (2010). Estructuras reciprocas. Arquitectura y tecnología.
- Robles F. F. y Echenique M. R. (1989). Estructuras de madera. México. 367 p.

Stern G.E. (1960). Wire nails. Virginia Polytechnic Institute. Wire. Blacksburg Virginia. USA.
1004-1006 p

Sánchez, M. (2016). ¿Qué es la duración de las cargas en la madera? [Blog] the cambium design
Available at: [http://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-
blog/estructuras-madera/duracion-cargas-estructuras-de-madera/](http://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/estructuras-madera/duracion-cargas-estructuras-de-madera/) [Accessed 16 Nov.
2017].

Vila Mariano y Meléndez Miguel. (2006). Cizallamiento para uniones con clavos de caña lisa y
helicoidal en y de Bombacaceae. Universidad Agraria la Molina. Lima. Visto el 6 de
marzo del 2024. Disponible en:
<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1023>

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de flexión estática de la madera cachimbo rojo en uniones clavadas

N°	Sample No.	Ancho cm	Espesor cm	Área cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²	CLP kg	C Max kg	DLP cm
1	CRLT1P1CZ-1	5.80	4.10	23.80	1488	157700	469	499	0.730
2	CRLT1P2CZ-2	5.90	6.00	35.40	688	99200	147	233	0.357
3	CRLT1P3CZ-3	6.00	6.00	36.00	641	80000	117.2	219	0.349
4	CRLT1P4CZ-4	6.00	6.00	36.00	806	98600	169.1	277	0.407
5	CRLT1P5CZ-5	6.00	6.00	36.00	649	93300	153.3	220	0.398
6	CRLT1P6CZ-6	6.00	5.90	35.40	745	94900	171	259	0.423
7	CRLT1P7CZ-7	6.00	5.90	35.40	642	83500	158.4	219	0.454
8	CRLT1P8CZ-8	6.00	5.90	35.40	740	106500	174.4	257	0.382
9	CRLT1P9CZ-9	6.00	5.80	34.80	796	97300	172.7	273	0.420
10	CRLT1P10CZ-10	6.00	5.90	35.40	597	78200	137.5	208	0.408
11	CRLT2P1CZ-1	6.00	6.00	36.00	684	95100	159.5	234	0.400
12	CRLT2P2CZ-2	5.90	6.00	35.40	772	106700	191.2	260	0.435
13	CRLT2P3CZ-3	6.10	5.90	36.00	701	102500	143.9	240	0.333
14	CRLT2P4CZ-4	6.00	6.00	36.00	719	92200	160.6	249	0.409
15	CRLT2P5CZ-5	5.90	6.00	35.40	708	92700	186.1	242	0.480
16	CRLT2P6CZ-6	6.00	5.90	35.40	622	83300	154.1	215	0.431
17	CRLT2P7CZ-7	5.90	6.00	35.40	867	109900	175.8	299	0.378
18	CRLT2P8CZ-8	6.00	5.90	35.40	660	89800	131	227	0.346
19	CRLT2P9CZ-9	5.90	5.90	34.80	673	97800	136.8	229	0.336
20	CRLT2P10CZ-10	6.00	5.90	35.40	797	100700	136.4	275	0.319
21	CRLT3P1CZ-1	5.80	5.90	34.20	751	91200	150.4	254	0.399
22	CRLT3P2CZ-2	5.90	6.00	35.40	560	71200	124.1	189.5	0.422
23	CRLT3P3CZ-3	6.00	5.90	35.40	597	87800	114.4	208	0.302
24	CRLT3P4CZ-4	6.00	5.90	35.40	828	111500	175.2	278	0.385
25	CRLT3P5CZ-5	6.00	5.90	35.40	789	106300	154.3	270	0.347
26	CRLT3P6CZ-6	6.10	6.10	37.20	649	83700	138.8	223	0.393
27	CRLT3P7CZ-7	6.00	6.00	36.00	618	77400	113.1	214	0.345
28	CRLT3P8CZ-8	6.00	6.00	36.00	685	82400	141.8	237	0.404
29	CRLT3P9CZ-9	6.00	5.90	35.40	571	87800	104.7	196.9	0.281
30	CRLT3P1CZ-10	6.10	5.90	36.00	514	86200	105.2	178.5	0.284

ANEXO 2. Ensayos de flexión estática de la madera solida de la especie cachimbo rojo

Item	Sample No.	Ancho cm	Espesor cm	Área cm ²	MOR kg/cm ²	MOE kg/cm ²	CLP kg	C max kg	DLP cm
1	CHT1flx	2.57	2.51	6.45	1249	125000	55.6	375	0.13
2	CHT2flx	2.56	2.55	6.53	1239	122200	219	382	0.49
3	CHT3flx	2.57	2.53	6.5	1240	111000	236	378	0.6
4	CHT4flx	2.56	2.58	6.6	1192	107800	212	376	0.52
5	CHT5flx	2.62	2.75	7.2	589	71400	150	216	0.45
6	CHT6flx	2.55	2.53	6.45	1354	124100	246	409	0.56
7	CHT7flx	2.53	2.51	6.35	1022	88300	164.8	302	0.54
8	CHT8flx	2.53	2.47	6.25	1343	138800	240	384	0.53
9	CHT9flx	2.51	2.59	6.5	1247	126200	233	389	0.49
10	CHT10flx	2.47	2.59	6.4	1150	122300	226	353	0.5

ANEXO 3. Ensayos de cizallamiento simple paralelo al grano en uniones clavadas de la madera de la especie cachimbo rojo

N°	Sample No.	Ancho cm	Espesor cm	Area cm ²	C MAX kg	RES.MAX (Kg/cm2)
01	CRLT1P1CZ-1	6.00	5.90	35.40	2360.00	66.67
02	CRLT1P2CZ-2	6.00	5.90	35.40	2330.00	65.82
03	CRLT1P3CZ-3	5.90	5.90	34.80	2040.00	58.62
04	CRLT1P4CZ-4	6.00	5.80	34.80	2330.00	66.95
05	CRLT1P5CZ-5	5.80	5.90	34.20	2320.00	67.84
06	CRLT1P6CZ-6	5.80	6.00	34.80	2551.00	73.30
07	CRLT1P7CZ-7	6.00	5.90	35.40	2781.00	78.56
08	CRLT1P8CZ-8	6.00	5.90	35.40	2741.00	77.43
09	CRLT1P9CZ-9	6.00	5.90	35.40	2450.00	69.21
10	CRLT1P10CZ-10	6.00	6.00	36.00	2747.00	76.31
11	CRLT2P1CZ-1	6.00	6.00	36.00	2880.00	80.00
12	CRLT2P2CZ-2	6.00	5.90	35.40	2931.00	82.80
13	CRLT2P3CZ-3	6.00	6.00	36.00	2718.00	75.50
14	CRLT2P4CZ-4	6.00	6.00	36.00	2450.00	68.06
15	CRLT2P5CZ-5	6.00	6.00	36.00	2090.00	58.06
16	CRLT2P6CZ-6	5.90	5.90	34.80	1928.00	55.40
17	CRLT2P7CZ-7	6.00	5.90	35.40	2230.00	62.99
18	CRLT2P8CZ-8	6.00	5.90	35.40	2090.00	59.04
19	CRLT2P9CZ-9	6.12	6.00	36.70	2673.00	72.83
20	CRLT2P10CZ-10	6.00	6.00	36.00	1656.00	46.00
21	CRLT3P1CZ-1	5.90	5.90	34.80	1861.00	53.48
22	CRLT3P2CZ-2	5.90	6.00	35.40	2000.00	56.50
23	CRLT3P3CZ-3	6.00	6.00	36.00	1911.10	53.09
24	CRLT3P4CZ-4	5.90	6.00	35.40	2378.00	67.18
25	CRLT3P5CZ-5	6.00	6.00	36.00	2237.00	62.14
26	CRLT3P6CZ-6	5.90	5.90	34.80	2651.00	76.18
27	CRLT3P7CZ-7	6.00	6.00	36.00	1879.00	52.19
28	CRLT3P8CZ-8	5.90	6.00	35.40	2130.60	60.19
29	CRLT3P9CZ-9	6.00	6.00	36.00	1487.00	41.31
30	CRLT3P1CZ-10	6.00	6.10	36.60	2020.00	55.19

ANEXO 5. Compra de la madera de cachimbo para fabricar las probetas para cizallamiento simple y deflexión estática

Figura 14.

Lote de madera 01



Figura 15.

Lote de madera 02



Figura 16.

Lote de madera 03



Figura 17.

Lote de madera 01



ANEXO 6. Proceso de fabricación las probetas para cizallamiento simple y de flexión estática

Figura 18.
Cubicación de madera



Figura 19.
Ajustes de corte



Figura 20.
Pre cortes de las medidas



Figura 21.
Pre cortes de las medidas



ANEXO 7. Armado y ensayos de las probetas de flexión estática y cizallamiento

Figura 20.

Cortes de las medidas finales



Figura 21.

Armado de las probetas



Figura 22.

Ensayo de flexión estática



Figura 23.

Ensayo de Cizallamiento

