UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

UNIONES ESTRUCTURALES EMPERNADAS DE MADERA PASHACO (*Albizzia sp.*) CON PERNOS DE 1/4" Y 3/8"

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

CARLOS BERMUDO GUERRA PERALES

ID: 0009-0001-9640-3378

ASESORA

MSc. ISABEL MOROMI NAKATA

ID: 0000-0002-7298-565X

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.
“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”
Guerra Perales, Carlos Bermudo
carlosguerraperales@gmail.com
Teléfono: 945545474

DEDICATORIA

A Dios. A mi Padre y Madre, por ser mis ejemplos de trabajo, humildad y constancia en la obtención de objetivos, por el apoyo indesmayable en mis estudios, nunca podré pagarles todo lo sacrificado.

A mis hermanos, que son las personas que Dios me dio como familia y que siempre estarán apoyándome.

A mis abuelos paternos y maternos.

A mi querida esposa, por la confianza depositada en mí y por el amor que guardamos.

A mis dos hijos amados, Isabella y Matías, que son el motivo principal de todo acto de superación y crecimiento personal, los amo.

Índice

Resumen 4

Abstract 6

Prólogo 8

Lista de cuadros 9

Lista de gráficas 12

Lista de figuras 15

Lista de fotos 16

Capítulo I: Introducción 17

1.1. Antecedentes 17
1.2. Justificación 18
1.3. Planteamiento del problema 18
1.4. Definición de los objetivos 18
1.5. Resultados esperados 19
1.6. Marco teórico 19
1.7. Formulación de la hipótesis 21
1.8. Metodología del trabajo 21

Capítulo II: Marco teórico y conceptual 22

2.1. Aspectos generales 22
2.1.1. Estructura y composición 23
2.1.2. Estructura anatómica 25
2.1.3. Planos de madera 26
2.1.4. Estructura macroscópica 26
2.1.5. Estructura microscópica 28
2.1.6. Aserrado de la madera 29
2.2. Madera para la construcción 30

Capítulo III: Madera 33

3.1. La madera en el perú y el mundo 33
3.1.1. Producción forestal 33
3.1.2. Exportaciones peruanas de madera 36
3.1.3. Importaciones peruanas de madera 38
3.1.4. Comercio internacional de madera 39

3.1.5. Lineamientos políticos de la inversion pública en desarrollo forestal (2015 - 2021) 44
3.2. Descripción de la madera pashaco (albizzia sp.) 51
3.2.1. Procedencia del pashaco (albizzia sp.) 51
3.2.2. Descripción de la especie forestal pashaco (albizzia sp.) 53
3.2.3. Características de la madera pashaco (albizzia sp.) 53
3.2.4. Propiedades físicas y mecánicas de la madera pashaco (albizzia sp.) 53
Capitulo IV: Pernos 61
4.1. Definición 61
4.2. Tipos de pernos 61
4.3. Arandelas 66
Capítulo V: Uniones estructurales en elementos de madera 68
5.1. Tipos de uniones estructurales 70
5.1.1. Uniones clavadas 70
5.1.2. Uniones con tirafones 70
5.1.3. Uniones empernadas 71
5.2. Solicitaciones en las uniones 71
5.2.1. Cizalle o corte simple 72
5.2.2. Doble cizallamiento 72
5.2.3. Cizallamiento múltiple 73
Capítulo VI: Procedimiento experimental 74
6.1. Ensayos realizados 74
6.1.1. Equipo y normativa de ensayo 74
6.1.2. Montaje de probetas 76
6.1.3. Análisis y gráficas de ensayos 80
6.2. Cálculos de densidad y humedad 81
6.2.1. Ensayo de densidad básica 81
6.2.2. Ensayo de contenido de humedad 88
Capítulo VII: Resultados y discusión 95
7.1. Ensayos de resistencia al doble cizallamiento 95
7.1.1. Espesor central 2 cm y 2 pernos de 1/4" 97
7.1.2. Espesor central 2 cm y 2 pernos de 3/8" 102
7.1.3. Espesor central 4 cm y 3 pernos de 1/4" 107
7.1.4. Espesor central 4 cm y 3 pernos de 3/8" 112

7.2. Comparacion de resultados con la norma e 010.....116
7.3. Comparativo entre los resultados obtenido y el manual de diseño del grupo andino.....119
7.4. Influencia de la humedad en la resistencia de las probetas de madera.....125
7.4.1. Resultado de contenido de humedad en probetas de madera.....125
7.4.2. Comparativo del contenido de humedad y resistencia de probetas de madera..129
Conclusiones..... 133
Recomendaciones 135
Referencias bibliográficas 136
Anexos……..……138

RESUMEN

En el Perú el área forestal tropical representa aproximadamente el 60 % del territorio nacional, siendo la madera un recurso renovable. A pesar de la gran extensión de recurso forestal, la industria maderera no se ha desarrollado de forma que incida en el crecimiento económico del país, como sí ocurre en países desarrollados que cuentan con menos áreas forestales.

En la actualidad se tiene un déficit en la construcción de viviendas con madera, que, por sus características, podrían usarse de forma más comercial y masiva. Para el óptimo desarrollo de la industria maderera, es de importancia la investigación de nuevas especies y los tipos de conexiones estructurales que se apliquen entre los distintos elementos de madera.

La presente tesis se elaboró con la finalidad de determinar la resistencia mediante ensayos en uniones empernadas en maderas de baja densidad, analizándose en este caso la especie Pashaco (Albizzia sp.). De este modo se aspira a aportar al desarrollo del uso de la madera en la industria de la construcción de viviendas, así también incentivar a que se continúe investigando los distintos tipos de conexiones.

Para la investigación se realizaron ensayos a doble cizallamiento de 120 probetas, agrupadas según el diámetro y espesor de las muestras. Todos los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Previamente a los ensayos, se llevó una muestra de la madera a investigar al Laboratorio de Anatomía e Identificación de Maderas de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), para certificar la especie de madera estudiada.

Los valores de cargas admisibles obtenidos para la pieza central de 2 cm de espesor con 2 pernos de 1/4” fue de 145,31 kg y para 2 pernos de 3/8” fue de 238,34 kg. De igual manera, las cargas admisibles para la pieza central de 4 cm de espesor con 3 pernos de 1/4” fue de 377,74 kg y para 3 pernos de 3/8” fue de 625,08 kg.

Se realizó un estudio comparativo entre el contenido de humedad de las muestras y las cargas admisibles resultantes de los ensayos, obteniendo un comportamiento inversamente proporcional entre ambos valores.

Se analizaron las cargas admisibles resultantes y se compararon con los valores establecidos para las maderas del Grupo C de la norma E 010. Se espera que la presente investigación aporte a la inclusión de nuevas especies dentro de un nuevo grupo de maderas de baja densidad y de mayor uso comercial.

ABSTRACT

In Peru, the tropical forest area represents approximately 60 % of the national territory, with wood being a renewable resource. Despite the large extension of forest resources, the timber industry has not developed in a way that affects the economic growth of the country, as occurs in developed countries that have fewer forest areas.

Currently there is a deficit in the construction of houses with wood, which, due to their characteristics, could be used in a more commercial and massive way. For the optimal development of the wood industry, it is important to research new species and the types of structural connections that are applied between the different wood elements.

This thesis was prepared with the purpose of determining the resistance through tests on bolted joints in low-density wood, analyzing in this case the Pashaco species (Albizzia sp.). In this way, the aim is to contribute to the development of the use of wood in the housing construction industry, as well as to encourage continued research into the different types of connections.

For the investigation, double shear tests were carried out on 120 specimens, grouped according to the diameter and thickness of the samples. All tests were carried out in the Materials Testing Laboratory (LEM) of the Faculty of Civil Engineering of the National University of Engineering (UNI). Prior to the tests, a sample of the wood to be investigated was taken to the Wood Anatomy and Identification Laboratory of the National Agrarian University of La Molina (UNALM), to certify the species of wood studied.

The allowable load values obtained for the 2 cm thick central piece with 2 1/4” bolts were 145,31 kg and for 2 3/8” bolts it was 238,34 kg. Similarly, the allowable loads for the 4 cm thick central piece with 3 1/4” bolts were 377,74 kg and for 3 3/8” bolts it was 625,08 kg.

A comparative study was carried out between the moisture content of the samples and the admissible loads resulting from the tests, obtaining an inversely proportional behavior between both values.

The resulting admissible loads were analyzed and compared with the values established for Group C woods of the E 010 standard. It is expected that this research will contribute to the inclusion of new species within a new group of low-density woods and increased commercial use.

PRÓLOGO

El estudio de las uniones estructurales en construcciones de madera ha cobrado una importancia cada vez mayor en el ámbito de la ingeniería civil, especialmente en regiones donde este material es abundante y tradicionalmente utilizado. En este contexto, la madera Pashaco (Albizzia sp.), se presenta como una opción viable para aplicaciones estructurales, pero aún existe un vacío en cuanto a la comprensión de su comportamiento específico cuando se emplean pernos de diferentes diámetros.

La presente tesis tiene como objetivo principal investigar las características mecánicas de las uniones empernadas de madera Pashaco utilizando pernos de 1/4” y 3/8”. A través de este trabajo, se busca no solo aportar datos relevantes para la optimización del uso de esta madera en la construcción, sino también establecer una base de conocimiento que permita a ingenieros y constructores tomar decisiones informadas respecto a la selección y dimensionamiento de uniones estructurales.

El interés por desarrollar esta investigación surge de la necesidad de diversificar y mejorar las técnicas constructivas que emplean materiales sostenibles y locales, contribuyendo así al desarrollo de prácticas más ecológicas y eficientes. Este trabajo no solo se inserta en un marco académico, sino que también tiene la intención de generar un impacto positivo en la industria de la construcción, especialmente en zonas rurales y semiurbanas donde la madera Pashaco es un recurso accesible.

Con la esperanza de que los resultados obtenidos sirvan para mejorar las prácticas constructivas con madera y promuevan el uso racional y eficiente de los recursos forestales, presento este trabajo como una contribución tanto al campo de la ingeniería estructural como al desarrollo sostenible.

Asesor.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1: Estructura Microscópica de la Madera. 28
Cuadro N°2: Densidad Básica para Maderas Latifoliadas 31
Cuadro N°3: Volumen de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial (2018). 41
Cuadro N°4: Volumen de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial (2018). 42
Cuadro N°5: Políticas y estrategias referidas al desarrollo de Plantaciones Forestales con fines comerciales y/o industriales. 46
Cuadro N°6: Políticas y estrategias de desarrollo de plantaciones forestales con fines de protección. 46
Cuadro N°7: Políticas y estrategias referidas al desarrollo de la industria forestal 47
Cuadro N°8: Políticas y estrategias referidas a la provisión de conocimiento, ciencia y tecnología 47
Cuadro N°9: Políticas y estrategias referidas al desarrollo de la industria forestal 48
Cuadro N°10: Políticas y estrategias referidas al manejo forestal sostenible de los bosques. 48
Cuadro N°11: Peso Unitario – Contenido de Humedad de Madera Pashaco 56
Cuadro N°12: Propiedades Físicas de Madera Pashaco 56
Cuadro N°13: Propiedades Mecánicas de Madera Pashaco 58
Cuadro N°14: Propiedades Mecánicas de Madera Pashaco 59
Cuadro N°15: Densidad Básica para Maderas Latifoliadas 60
Cuadro N°16: Esfuerzos Admisibles para Maderas Latifoliadas MPa (kg/cm2) . 60
Cuadro N°17: Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales 67
Cuadro N°18: Longitudes de Muestras a Ensayar. 75
Cuadro N°19: Velocidad de Ensayos. 75
Cuadro N°20: Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4". 84
Cuadro N°21: Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8". 85

Cuadro N°22: Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4". 86
Cuadro N°23: Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8". 87
Cuadro N°24: Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4"..... 91
Cuadro N°25: Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8"..... 92
Cuadro N°26: Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4"..... 93
Cuadro N°27: Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8"..... 94
Cuadro N°28: Cargas en probetas de espesor 2cm y 2 pernos 1/4"..... 100
Cuadro N°29: Coeficientes considerados para la determinación de cargas admisibles..... 101
Cuadro N°30: Cargas en probetas de espesor 2cm y 2 pernos 1/4"..... 105
Cuadro N°31: Cargas en probetas de espesor 4cm y 3 pernos 1/4"..... 110
Cuadro N°32: Cargas en probetas de espesor 4cm y 3 pernos 1/4"..... 115
Cuadro N°33: Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento, pieza central de 2 cm. 117
Cuadro N°34: Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento, pieza central de 4 cm. 117
Cuadro N°35: Factores de reducción a la carga admisible en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada. 118
Cuadro N°36: Comparativo de cargas admisibles de la madera Pashaco con los demas tipos de madera, usando pieza central de 2cm para pernos de 1/4” y 3/8”. 118
Cuadro N°37: Comparativo de cargas admisibles de la madera Pashaco con los demas tipos de madera, usando pieza central de 4cm para pernos de 1/4” y 3/8”. 118
Cuadro N°38: Coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano. 120
Cuadro N°39: Factores de reducción para la obtención de cargas paralelas al grano (Manual de diseño del grupo Andino, 1984). 121

Cuadro N°40: Comparación de cargas admisibles obtenidas mediante ensayos y calculadas con el manual de madera del grupo Andino..... 125
Cuadro N°41: Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 2cm con 2 pernos de 1/4"..... 126
Cuadro N°42: Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 2cm con 2 pernos de 3/8"..... 127
Cuadro N°43: Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 4cm con 3 pernos de 1/4"..... 128
Cuadro N°44: Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 4cm con 3 pernos de 3/8"..... 129
Cuadro N°45: Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8"..... 130
Cuadro N°46: Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8"..... 130
Cuadro N°47: Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8"..... 131
Cuadro N°48: Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8"..... 131

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Carga vs Deformación. Límite Proporcional..... 20
Gráfica N° 2: Producción de Madera Rolliza (Millones de M3)..... 34
Gráfica N° 3: Producción de Madera Rolliza por Región (2017) 34
Gráfica N° 4: Producción de Madera Aserrada (Millones de M3)..... 35
Gráfica N° 5: Producción de Madera Aserrada por Región (2017) 35
Gráfica N° 6: Exportación de Madera 2007 – 20017 (Millones US$) 37
Gráfica N° 7: Exportación de Madera por Destino 2007 – 20017 (Millones US$) 38
Gráfica N° 8: Importación de Madera 2007 – 20017 (Millones US$) 38
Gráfica N° 9: Importación de Madera por Destino 2007 – 20017 (Millones US$) 39
Gráfica N° 10: Producción por Región Mundial de Madera en Rollo Industrial (2018)..... 40
Gráfica N° 11: Comparativo de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial (2018)..... 41
Gráfica N° 12: Variación de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial año: 2016, 2017 y 2018..... 42
Gráfica N° 13: Comparativo de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial (2018)..... 43
Gráfica N° 14: Variación de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial año: 2016, 2017 y 2018..... 43
Gráfica N° 15: Variación de porcentajes de bosques que cuentan con plan de manejo de aprovechamiento de Recursos forestales. 49
Gráfica N° 16: Variación de porcentajes de cumplimiento de las metas de superficie de plantaciones forestales..... 50
Gráfica N° 17: Variación de porcentajes del cumplimiento de las metas de actividades planificadas de los objetivos establecidos en la Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública 51
Gráfica N° 18: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4” (Ensayo 1 al 6)..... 97
Gráfica N° 19: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4” (Ensayo 7 al 12)..... 98

Gráfica N° 20: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 13 al 18). 98
Gráfica N° 21: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 19 al 24). 99
Gráfica N° 22: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 25 al 30). 99
Gráfica N° 23: Resumen de ensayos a muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4". 101
Gráfica N° 24: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 1 al 6). 102
Gráfica N° 25: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 7 al 12). 103
Gráfica N° 26: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 13 al 18). 103
Gráfica N° 27: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 19 al 24). 104
Gráfica N° 28: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 25 al 30). 104
Gráfica N° 29: Resumen de ensayos a muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8". 106
Gráfica N° 30: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 1 al 6). 107
Gráfica N° 31: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 7 al 12). 107
Gráfica N° 32: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 13 al 18). 108
Gráfica N° 33: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 19 al 24). 108
Gráfica N° 34: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 25 al 30). 109
Gráfica N° 35: Resumen de ensayos a muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4". 111
Gráfica N° 36: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 1 al 6). 112

Gráfica N° 37: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8” (Ensayo 7 al 12). 112
Gráfica N° 38: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8” (Ensayo 13 al 18). 113
Gráfica N° 39: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8” (Ensayo 19 al 24). 113
Gráfica N° 40: Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8” (Ensayo 25 al 30). 114
Gráfica N° 41: Resumen de ensayos a muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8”. 116

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1: Partes del Tronco. 25
Figura N°2: Estructura Anatómica de la madera latifoliada (Tropical)..... 27
Figura N°3: Denominación de los tipos de corte según su orientación en el tronco..... 30
Figura N°4: Formas de Cubicar la Madera..... 31
Figura N°5: Mapa de ubicación de la madera Pashaco en el Perú. 52
Figura N°6: Contracción Radial. 54
Figura N°7: Contracción Tangencial..... 55
Figura N°8: Contracción Volumétrica. 55
Figura N°9: Perno Hexagonal..... 61
Figura N°10: Perno Cabeza Hexagonal. 62
Figura N°11: Perno Hexágono Interior. 63
Figura N°12: Perno Cabeza Cuadrada..... 63
Figura N°13: Perno Cabeza Triangular. 64
Figura N°14: Perno Cabeza Bihexagonal. 64
Figura N°15: Perno Cabeza de Martillo..... 65
Figura N°16: Perno Cabeza Redondo..... 65
Figura N°17: Perno Ranura Recto..... 66
Figura N°18: Perno Cruciforme Inferior..... 66
Figura N°19: Arandelas..... 67
Figura N°20: Uniones Pegadas. 68
Figura N°21: Uniones Embardilladas. 69
Figura N°22: Uniones Mecánicas. 69
Figura N°23: Tipos de Clavos..... 70
Figura N°24: Tirafondos con cabeza hexagonal, avellanada y redonda (de arriba abajo)..... 70
Figura N°25: Conexión empernada con uso de arandela..... 71
Figura N°26: Cizalle Simple..... 72
Figura N°27: Cizalle Doble. 72
Figura N°28: Cizalle Multiple. 73
Figura N°29: Resultados de ensayos en el software TestXpert del Zwick Roell. 80
Figura N°30: Graficas de Fuerza (kg) vs Deformación (mm). 80

LISTA DE FOTOS

Fotografía N° 1: Maquina Zwick Roell de 1000 KN..... 74
Fotografía N° 2: Compra de madera Pashaco..... 77
Fotografía N° 3: Metrado de Madera Pashaco. 77
Fotografía N° 4: Modulación de piezas de madera Pashaco. 78
Fotografía N° 5: Transporte de piezas a ensayar. 78
Fotografía N° 6: Almacenamiento en laboratorio de muestras..... 79
Fotografía N° 7: Ensayo de muestras a doble cizallamiento. 79
Fotografía N° 8: Muestras saturadas..... 82
Fotografía N° 9: Muestra sumergida en pipeta graduada..... 82
Fotografía N° 10: Muestras colocadas al horno a 1103° C ± 2° C 83
Fotografía N° 11: Corte de muestras para ensayo de contenido de humedad... 89
Fotografía N° 12: Muestras moduladas para ensayo de contenido de humedad. 89
Fotografía N° 13: Pesaje de muestras en estado húmedo..... 89
Fotografía N° 14: Muestras colocadas al horno a 1103° C ± 2° C 90
Fotografía N° 15: Pesaje de muestras en estado seco. 90
Fotografía N° 16: Codificación de muestras previo al ensayo..... 95
Fotografía N° 17: Ensayo a doble cizallamiento, vista isométrica..... 95
Fotografía N° 18: Ensayo a doble cizallamiento, vista frontal 96
Fotografía N° 19: Ensayo a doble cizallamiento, vista lateral..... 96
Fotografía N° 20: Falla en conexión empernada post ensayo..... 97

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La madera es unos de los materiales con más antigüedad que el hombre haya utilizado en la historia, esto debido a que sus propiedades físicas y mecánicas son de buenas características. Además, es un recurso renovable al cual, si se le da un aprovechamiento racionado y responsable, puede lograr un uso masificado, ya que sus costos, en comparación con los materiales de construcción convencionales, son de menor valor.

En ese sentido, existen investigaciones en países como Ecuador y Colombia en lo que respecta al estudio de la madera Pashaco (*Albizzia sp*.), en las cuales se caracterizan las principales propiedades físicas y mecánicas.

En cuanto a investigaciones realizadas en el Perú, en el estudio de Aróstegui et al. (1986) se analizaron 40 especies del bosque nacional Alexander Von Humboldt, en el cual se analizó el comportamiento tecnológico de la madera Pashaco (*Albizzia sp*.), durante el aserrío, secado, durabilidad natural, preservado, trabajabilidad y resistencia mecánica. Existen también tesis profesionales sobre madera Pashaco (*Albizzia sp*.), como la de Herrera (2016), en la cual se realizaron una serie de ensayos para la obtención de las propiedades mecánicas tales como el módulo de elasticidad en flexión, módulo de rotura en flexión, compresión paralela y compresión perpendicular. Así también una investigación, en la cual se realizó el análisis del comportamiento resistente de las uniones clavadas en madera Pashaco (*Albizzia sp*.) (Corrales, 2018).

En lo que respecta al estudio de uniones empernadas, se tienen tesis profesionales en madera Tornillo (Arrué, 1969), también existen estudios del uso de tirafones en uniones estructurales en madera Quinilla Colorada (Paredes, 2006) y madera Cachimbo (Menacho, 2010). Las tesis más recientes evalúan el uso de uniones empernadas de madera Cumala con pernos de 1/4'' y 3/8'' (Lope, 2018).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Basándonos en investigaciones previas, la madera Pashaco (*Albizzia sp*.), es una madera que permitiría emplearse como elemento estructural en los diversos campos de la construcción, esto debido a las propiedades físicas y mecánicas que posee. Sin embargo, se requiere complementar con la investigación de los diversos tipos de conexiones estructurales aplicables a la madera, entre ellos el de las uniones empernadas.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Perú se cuenta con una gran variedad de especies de madera, las cuales no han sido estudiadas en su gran mayoría, lo que ocasiona el poco uso de las mismas en el sector construcción. Esto debido a la poca información técnica que se tiene de ellas, lo cual hace necesaria la investigación de más especies de madera para así difundir más el uso en el sector construcción.

En el caso puntual de la madera Pashaco (*Albizzia sp*.) según sus propiedades físicas y mecánicas, se podría emplear en elementos estructurales. Sin embargo, las uniones estructurales empernadas no han sido aun estudiadas para este tipo de madera, existiendo solo estudios de conexiones clavadas; por ende es necesario complementar con más estudios que incluyan los distintos tipos de conexiones aplicadas a la madera, las cuales podrían admitirse en una nueva lista de especies agrupadas en una edición más actualizada del Reglamento Nacional de Edificaciones (2021).

1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

GENERAL:

- Determinar la resistencia mediante ensayos en uniones empernadas en madera de baja densidad, en este caso madera Pashaco (*Albizzia sp*.)

ESPECÍFICOS:

- Realizar ensayos de doble cizallamiento en uniones empernadas en madera Pashaco (*Albizzia sp*.), utilizando dos y tres pernos de 1/4” y 3/8”

- Comparar las cargas obtenidas de los ensayos con la norma de madera E.010 “Madera” del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS

Con la investigación se espera obtener valores que muestren el óptimo comportamiento de las uniones estructurales empernadas, utilizando maderas con densidades menores de 0.40 gr/cm^3, a fin de aportar un nuevo tipo de elemento estructural económico a la industria de la construcción.

1.6. MARCO TEÓRICO

Desde el inicio de la revolución industrial hasta la actualidad, la madera dejó emplearse de forma masiva, ya que su uso como materia prima se reemplazó por otros materiales, como por ejemplo los metales y plásticos. Muchas veces la madera fue más apreciada por su belleza y características ornamentales que por su utilidad estructural.

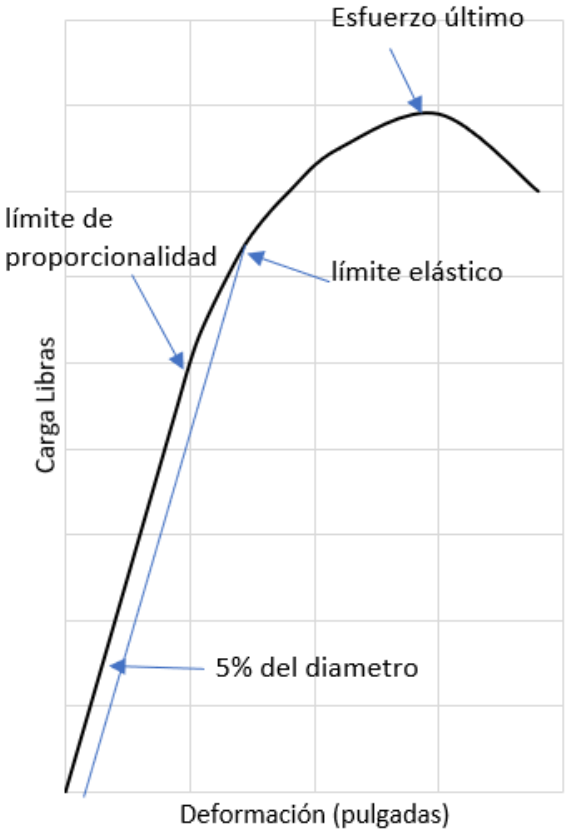
En la actualidad el uso de madera gradualmente se ha ido revalorando en el rubro de la construcción, para lo cual se ha ido involucrando su aplicación en conjunto con elementos estructurales como el acero para las uniones y empalmes. Las uniones estructurales con acero le dan mayor seguridad y comportamiento a las cargas a la cuales serán solicitadas.

A día de hoy existe una variedad de sistemas de uniones estructurales, específicamente, el tipo de unión empernada de doble cizallamiento con cargas paralelas al grano puede aplicarse en tijerales cuyos elementos estructurales estén sometidos a fuerzas de compresión o tracción.

Las uniones estructurales empernadas se caracterizan porque permiten que los pernos más delgados tengan un comportamiento más eficiente, debido a que la razón resistencia / volumen es mayor; sin embargo, al aplicar pernos de diámetro delgado, el número de pernos a usarse será mayor, para lo cual es importante tomar en cuenta la separación correcta entre los pernos. Es por ello que se debe identificar la correcta disposición para cada tipo de unión.

Las uniones estructurales empernadas sometidas a ensayos de doble cizallamiento con carga paralela a la fibra se estudian bajo la ley de Hooke, la cual enuncia que un material se deforma de manera elástica y directamente proporcional a la fuerza que se le aplique. El límite de este comportamiento en una gráfica esfuerzo – deformación, es denominado "Límite Proporcional". Según el NDS: Commentary National Design Specification for Wood Construction de la American Forest & Paper Association (1999), el Límite Proporcional se ubica al 5% del diámetro del perno, con una línea paralela a la parte proporcional de deformación.

Gráfica N° 1. Carga vs Deformación. Límite Proporcional



Elaboración Propia. NDS: Commentary National Design Specification for Wood Construction - American Forest & Paper Association (1999)

1.7. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La resistencia que se obtendrá en el estudio de uniones empernadas en la madera Pashaco (*Albizzia sp*.) es aceptable para la construcción de estructuras de viviendas o similares.

1.8. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

- El trabajo de investigación se desarrollará en el Laboratorio N°1 de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Se iniciará con la obtención de los materiales, tales como la madera Pashaco (*Albizzia sp*.), modulando el material en muestras de 10x30cm con espesores de 1cm, 2cm y 4cm. Los elementos laterales tendrán un espesor igual a la mitad del elemento central.

- Para las conexiones empernadas se emplearán dos o tres pernos de 1/4'' y de 3/8'' de diámetro.

- El siguiente paso será ensayar las combinaciones:

1. La primera combinación: unión de dos pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 2cm.
2. La segunda combinación: unión de dos pernos 3/8" y un espesor a ensayar de 2cm.
3. La tercera combinación: unión con tres pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 4cm.
4. La cuarta combinación: unión con tres pernos 3/8" y un espesor a ensayar de 4cm.

Para cada combinación será necesario realizar 30 ensayos. Por lo tanto, el número total de ensayos a realizarse será de 120.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. ASPECTOS GENERALES

En la prehistoria, la madera se utilizó como material de construcción antes que la piedra debido a la vida nómada de los hombres primitivos. Necesitaban construir refugios provisionales para sus actividades y la madera era más fácil de manejar y requería menos esfuerzo en comparación con la piedra. Aunque no se han conservado vestigios o pruebas de estructuras de madera debido a su poca durabilidad, en Ahrensburg, Alemania, los arqueólogos descubrieron círculos de piedra que eran utilizados por cazadores de la edad de piedra para anclar las pieles con las que cubrían los postes de sus viviendas (Robles y Echenique, 1991).

En el Paleolítico, el hombre se volvió sedentario y construyó refugios más permanentes y duraderos. Utilizando herramientas avanzadas, extrajeron troncos de árboles, siguiendo el criterio de la naturaleza: árboles vivos como columnas y árboles caídos como vigas. El uso de elementos pesados para muros y techos inspiró viviendas rectangulares. Un ejemplo es el descubrimiento de seis viviendas rectangulares en Timonovka (Rusia) cerca del río Desna, hundidas tres metros en el suelo y con paredes y techos de troncos cubiertos con tierra, atribuidas a una antigüedad de unos 20.000 años.

En el Neolítico, se establecieron dos sistemas básicos para las estructuras de madera: edificios con muros de troncos colocados horizontal o verticalmente, y edificios de armazones de columnas y vigas rigidizados con elementos diagonales y horizontales. Además, se desarrollaron palafitos, viviendas sobre estacas en lagos, como los encontrados en el lago Zurich (Suiza) y Glastonbury (Inglaterra), con vestigios similares en Italia e Irlanda (Robles y Echenique, 1991).

A lo largo de la historia, la madera se ha adaptado a las necesidades del hombre, tanto en su uso ornamental como en la construcción estructural, desde los tiempos de los romanos hasta la actualidad. Aunque en la actualidad la madera sigue siendo un elemento importante en la construcción, en el Perú aún no se ha aprovechado plenamente debido a la falta de conocimiento técnico y estudios al respecto.

El Perú es uno de los diez países con mayores recursos forestales a nivel mundial y el segundo en Latinoamérica, después de Brasil. Sus bosques albergan una gran biodiversidad. Según el Ministerio del Ambiente (2015), el país cuenta con una superficie de cobertura vegetal de 103’411,085 hectáreas, de las cuales 72’266,290 hectáreas corresponden a formaciones boscosas. Se conocen alrededor de 6,800 especies forestales, incluyendo 3,000 especies de árboles grandes, de las cuales solo 600 han sido debidamente clasificadas, y únicamente 80 especies son aprovechadas (SERFOR, 2016).

Hasta los años 70, toda la información en cuanto a diseño y construcción en madera en nuestro país provenía principalmente de fuentes de información originarias de países consumidores de maderas coníferas, que poseen características y comportamientos diferentes a la madera latifoliada (tropical). Fue debido a este desconocimiento de información de la madera latifoliada, que precisamente, se realizó el Estudio del Acuerdo de Cartagena.

Las maderas coníferas y latifoliadas tienen diferencias en su comportamiento mecánico, especialmente en resistencia y rigidez. Las maderas latifoliadas, con densidades similares a las coníferas, tienden a ser más resistentes y, en algunos casos, más flexibles. En ensayos con vigas a escala natural, se observan deformaciones significativas que luego la madera recupera casi por completo.

2.1.1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN

2.1.1.1. EL TRONCO

El tronco es la parte importante de un árbol, cuya sección transversal típica en un árbol maduro presenta las siguientes partes (Ver Figura N°1):

a) Corteza Exterior: Es la cubierta externa que protege al árbol de agentes atmosféricos, principalmente la insolación, es formada por un tejido llamado floema, que al morir forma está cubierta en el tronco (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

b) Corteza Interior: Es la capa cuyo fin es conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces, está constituida por el tejido floemático vivo, llamado también líber (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

c) Cambium: Tejido vegetal que se ubica entre la corteza y la madera, es la parte del árbol en donde se generan nuevas células permitiendo al árbol crecer. Las células del cambium poseen la característica de dividirse hasta cuando el árbol muere. Hacia el interior genera cambium y hacia el exterior floema o líber (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

d) La Madera o Xilema: la zona maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

e) La Albura: Es conocida como la parte joven o exterior de la madera, corresponde a los últimos anillos de crecimiento del árbol, producidos por el cámbium vascular en el tallo de la planta. Su función principal es transportar el agua y las sales minerales desde las raíces hasta las hojas. La albura es la parte activa de la madera, posee un color claro y según sea la especia poseerá un espesor variable (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

f) El Duramen: Es la parte inactiva y tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol. A continuación, se describe como se forma. Con el tiempo la albura pierde agua y sustancias alimenticias, infiltrándose en ella una serie de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y colorantes. La infiltración de estas sustancias modifica la consistencia de la madera que toma un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos, esto último distingue particularmente al duramen de la albura (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

g) Médula: Es la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquimático blando, usualmente de consistencia similar al corcho, su diámetro está en el rango de entre un milímetro hasta más de un centímetro según la especie (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

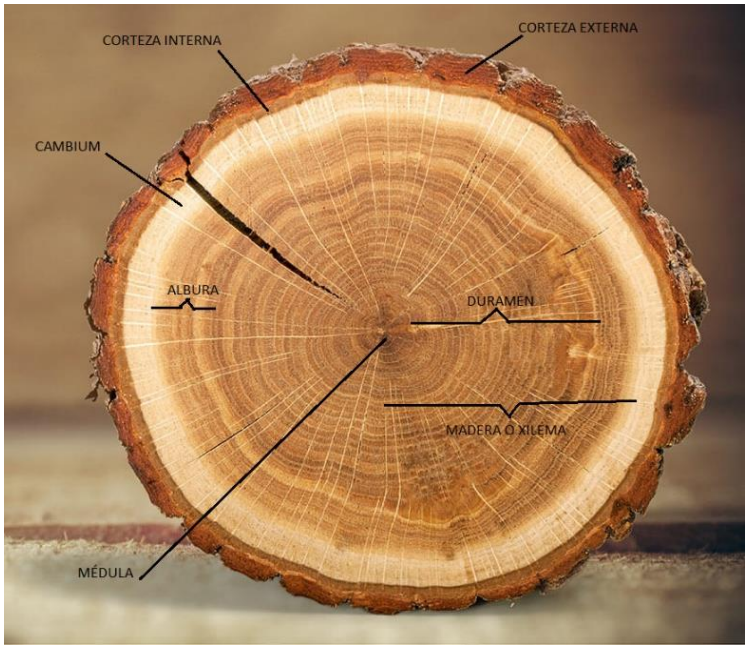


Figura N°1. Partes del Tronco.
Elaboración Propia.

2.1.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA

La parte maderable de un árbol tiene tres funciones básicas: transporte de agua, acumulación de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para realizar estas funciones en la madera se diferencian tres clases de tejido: tejido vascular (conductor), parénquima (de almacenamiento) y tejido fibroso (resistivo). Todas las células alargadas y de paredes gruesas, relacionadas primordialmente con el transporte y la resistencia mecánica, se denominan elementos prosenquimáticos; las células del parénquima, en cambio, son células cortas y de paredes relativamente delgadas, que tienen la función de acumular y distribuir sustancias de reserva.

En el tronco, se encuentran dos sistemas principales de componentes. xilemáticos: el sistema longitudinal, compuesto por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras o traqueidas) y elementos parenquimáticos, y el sistema transversal, constituido principalmente por elementos parenquimáticos. Conforme de cómo se perciben visualmente los tejidos, es posible dividir el análisis de la estructura anatómica en tres niveles distintos: macroscópico, microscópico y submicroscópico.

2.1.3. PLANOS DE MADERA

Para un mejor entendimiento de lo componentes xilemáticos, se requiere poseer una comprensión de las diversas secciones o planos. La sección transversal se define como el corte que se realiza de forma perpendicular al eje principal del tronco. Cuando el corte se realiza en línea con ese eje, se obtiene una sección longitudinal, y si sigue la misma dirección que los anillos de crecimiento y la corteza, pero es perpendicular a los radios, se llama sección tangencial. La sección radial corta los anillos de forma perpendicular, abarcando desde el núcleo hasta la corteza.

Es de suponer que en alguna de estas secciones o cortes se pueden observar todos los componentes celulares que constituyen la madera, pero lo crucial radica en que presentan características distintas dependiendo del tipo de corte que se examine. (Ver Figura N°2)

2.1.4. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

Se observa a simple vista o con ayuda de una lupa de 10 aumentos, teniendo los siguientes elementos (Ver Figura N°2):

- Anillos de crecimiento: Conformada por membranas que poseen la figura de una circunferencia, el anillo final siempre se extiende desde la base del árbol hasta la parte superior o copa. En regiones de climas templados, donde las estaciones son distinguibles, todos los árboles cuentan con anillos bien definidos. Durante la primavera, al inicio del período de crecimiento, el cambium genera células alargadas con paredes delgadas y un espacio interior amplio para el transporte de agua. En temporada de otoño, la transmisión del agua reduce, en consecuencia, se genera células pequeñas, de paredes engrosadas y el lumen pequeño. La diferencia en las células que se generan, junto con su tonalidad característica, hace que los anillos de crecimiento sean visibles de manera sencilla. En regiones tropicales, donde las estaciones no varían significativamente, la identificación de los anillos de crecimiento a veces resulta poco clara debido al crecimiento casi constante del árbol.

- Radios Medulares: Los radios son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo la dirección de los radios del círculo definido por el tronco, formando el sistema transversal del tronco. Los radios están constituidos por células parenquimáticas, es por ello que son líneas débiles de la madera y durante el sacado se producen grietas a lo largo de ellos. El ancho de los radios varía según la especie, con una lupa de 10x se los puede identificar claramente.

- Parénquima Longitudinal. - Compuesto de tejido parenquimático, forma parte del sistema longitudinal del tronco y su organización es relevante para distinguir la especie. Este tejido parenquimático longitudinal exhibe una tonalidad más clara en comparación con el tejido fibroso. En el caso de maderas con una mayor proporción de tejido parenquimático, estas tienden a tener una resistencia mecánica reducida y son más susceptibles al daño causado por hongos e insectos.

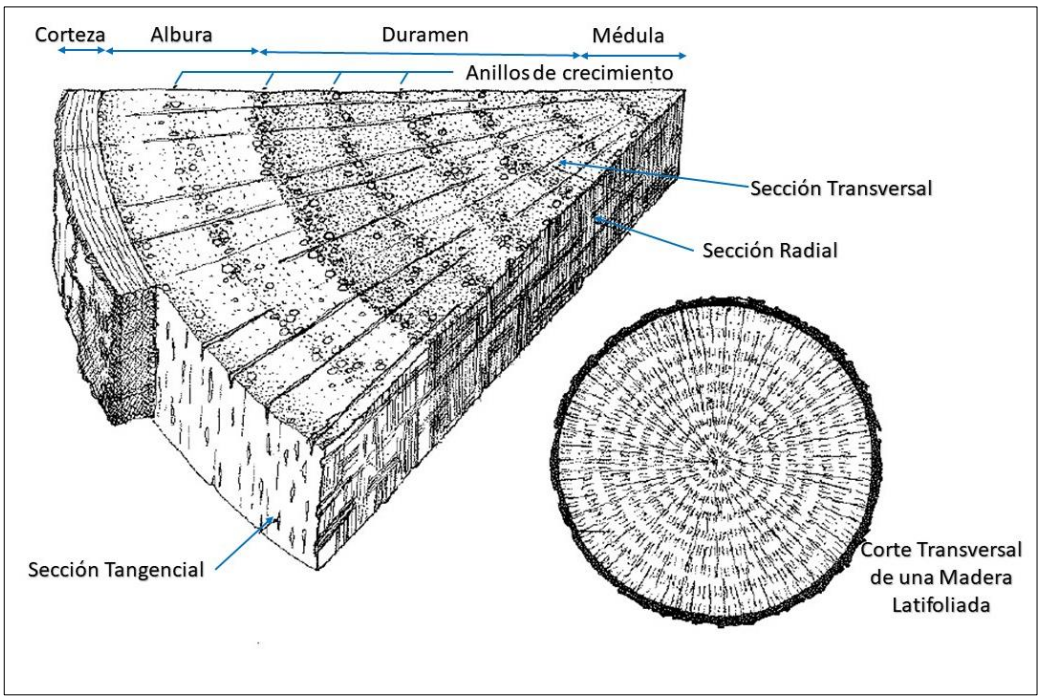


Figura N°2. Estructura Anatómica de la madera latifoliada (Tropical)
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

2.1.5. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

En la estructura macroscópica se tomó en cuenta las propiedades de los distintos tejidos de la madera. Sin embargo, en la estructura microscópica se estudia las distintas clases y propiedades de las células que constituyen estos tejidos.

2.1.5.1. MADERA LATIFOLIADAS

Este tipo de madera posee una forma anatómica heterogénea, (Ver Figura N°2), formada por diversas células leñosas, como los vasos o poros, cuyo fin es el transporte de agua y sales minerales. Estas células constituyen entre el 6% y el 50% del volumen total de la madera, siendo este porcentaje más elevado en las maderas de textura suave y porosa. Además, se encuentran fibras, que son células especializadas en funciones mecánicas y que constituyen más del 50% del volumen de la madera. Cuanto mayor sea la proporción de fibras, mayor será la densidad y, en consecuencia, la resistencia mecánica.

Además, se pueden apreciar células de parénquima que desempeñan la función de almacenar sustancias de reserva y constituyen un tejido leñoso de textura suave; en muchas especies tropicales, este tejido abarca más del 50% del volumen total.

Se presenta una descripción de las maderas latifoliadas y coníferas, en cuanto a su estructura anatómica (Ver Cuadro N°1)

Cuadro N°1. Estructura Microscópica de la Madera.

Sistema	Elementos	Latifoliadas	Coniferas
Longitudinal	Prosenquimáticos	Vasos Fibras	Traqueídas
	Parenquimáticos	Parénquima Longitudinal	Parénquima Longitudinal
Transversal	Prosenquimáticos	No Tiene	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Radial	Parénquima Radial

Elaboración Propia. Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

2.1.6. ASERRADO DE LA MADERA

Se trata del proceso inicial al que se somete un tronco después de ser extraído del bosque. Este proceso implica el uso de sierras de cinta o sierras circulares de gran tamaño. La atención se centra principalmente en obtener partes de dimensiones considerablemente grandes, dejando la obtención de secciones más pequeñas para una fase posterior.

En el presente capitulo se describe los tipos de cortes aserrados que se dan en el tronco de la madera, ya que las muestras adquiridas en las madereras vienen de forma rustica, por lo que se deberá tener conocimiento de cual corte del tronco de madera es el idóneo para la realización de las probetas a ensayar, ya que la calidad de la muestra depende del tipo de corte seleccionado.

La madera se puede cortar de tres formas diferentes: en dirección tangente a los anillos de crecimiento, lo que se conoce como "corte tangencial"; perpendicularmente a los anillos, siguiendo la dirección de los radios o las circunferencias definidas por los anillos, obteniendo "corte radial como se muestra en la Figura N°3; y siguiendo una dirección arbitraria obteniéndose en general madera de “corte oblicuo”.

Para obtener madera de alta calidad estructural, se recomienda el corte radial para reducir deformaciones durante el secado. Sin embargo, debido a la forma cilíndrica de los troncos, esto no siempre es posible. Ante estas situaciones, se debe decidir según el propósito de las piezas (por ejemplo, vigas o viguetas) y realizar cortes radiales para ellas, reservando el resto del tronco para usos menos exigentes en estabilidad dimensional. Para la presente tesis se utilizó muestras de cortes radiales.

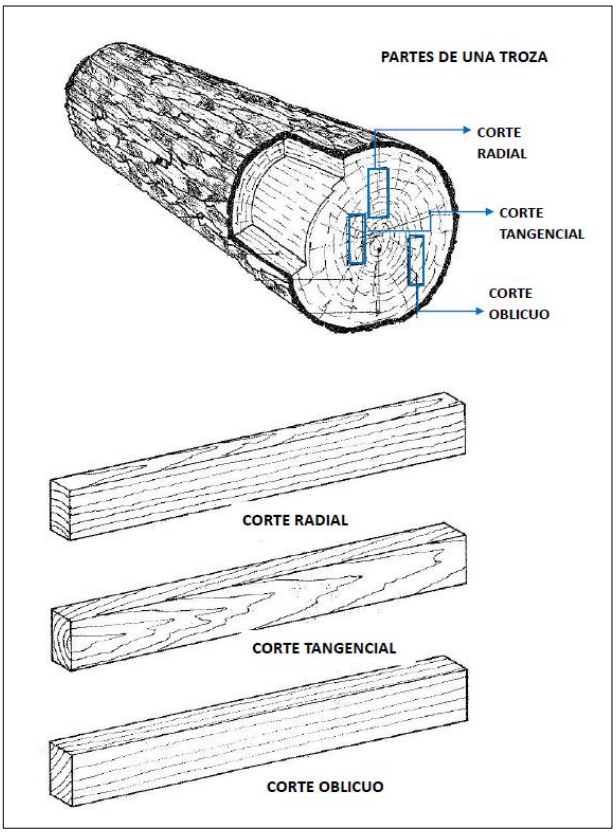


Figura N°3. Denominación de los tipos de corte según su orientación en el tronco.
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

2.2. MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN

En una vivienda o estructura de madera, es importante diferenciar dos tipos de materiales. Ante todo, está la madera de construcción estructural, que comprende todos los elementos utilizados con propósitos de resistencia, especialmente en la construcción de marcos de muros, techos, pisos elevados y columnas que forman la base estructural del edificio. La otra categoría comprende la madera no estructural, que se utiliza para revestimientos, puertas, ventanas y muebles, y no está destinada a soportar cargas significativas.

Por otro lado, según la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), se convino en una clasificación de maderas estructurales en las cuales se denominan A al grupo de maderas de mayor resistencia, B al grupo intermedio y C al grupo de menor resistencia. En adición a ello, según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E010, las densidades básicas de las maderas del grupo A están por lo general en el rango de 0.71 gr/cm^3 a 0.90 gr/cm^3, las del grupo B entre 0.56

gr/cm^3 y 0.70 gr/cm^3, y las del grupo C entre 0.40 gr/cm^3 y 0.55 gr/cm^3. En la última edición actualizada de la norma, se ha adicionado un nuevo grupo de madera, Grupo D, cuya densidad está en el rango de 0.36 gr/cm^3 y 0.39 gr/cm^3. Ver cuadro N° 02.

Cuadro N°2. Densidad Básica para Maderas Latifoliadas

Grupo	**Densidad Básica gr/cm^3**
A	≥ 0.71
B	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55
D	0.36 a 0.39

Elaboración: Propia. Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma Técnica E010.

Respecto a las dimensiones estandarizadas para cubicación que propone la Junta del Acuerdo de Cartagena son:

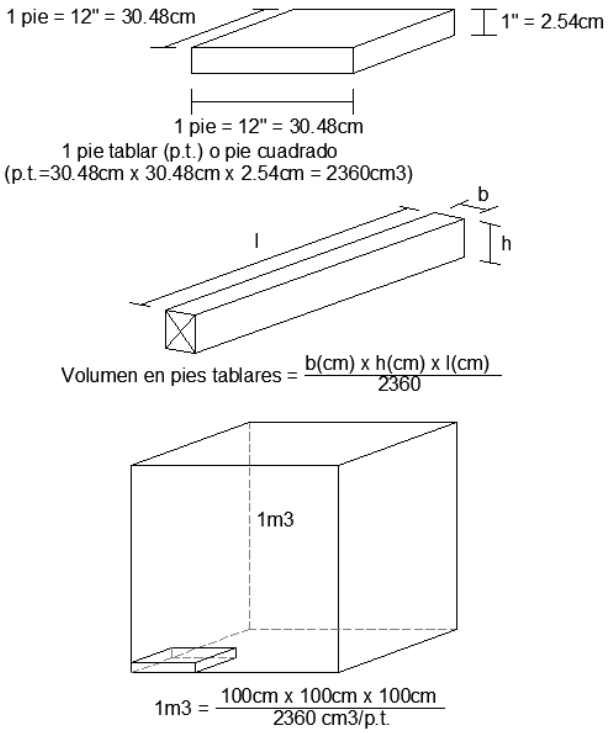


Figura N°4. Formas de Cubicar la Madera.
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

Es recomendable edificar utilizando madera que esté seca o que haya alcanzado su contenido de humedad de equilibrio. Esto asegura la estabilidad dimensional

de las piezas y reduce el riesgo de infestación por hongos e insectos. A pesar de ello, las especies de mayor densidad, como las del grupo estructural A y algunas del grupo B, pueden presentar dificultad al clavado.

CAPÍTULO III: MADERA

3.1. LA MADERA EN EL PERÚ Y EL MUNDO

3.1.1. PRODUCCIÓN FORESTAL

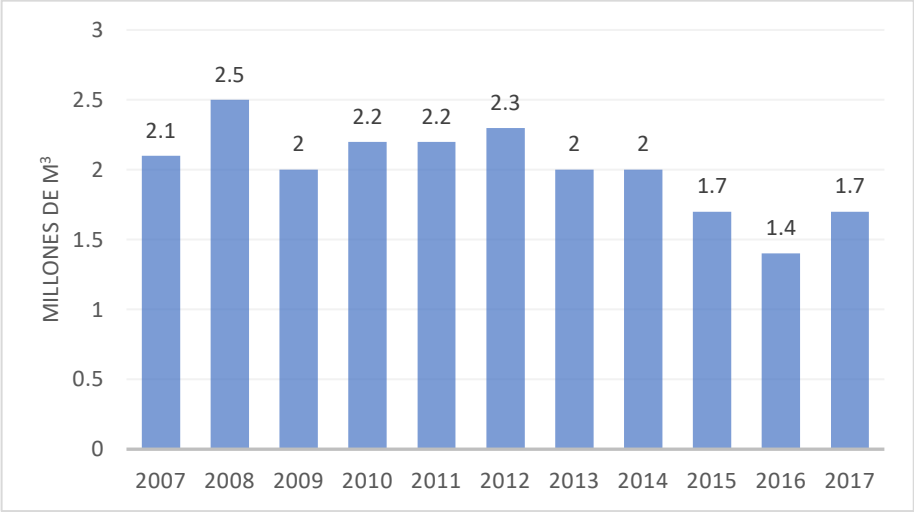
El Perú figura entre los diez países con una gran extensión de bosques en todo el mundo, siendo el segundo en América Latina después de Brasil. Estos bosques albergan una enorme diversidad biológica; a pesar de abarcar cerca del 60,0% del territorio nacional, el sector forestal no tiene un impacto sustancial en la economía del país, ya que solo representó un 0,80% del PBI del año 2021, ligeramente mayor a lo producido por Bolivia (0.70% del PBI 2021) y mucho menor a lo registrado por Chile (2,10% del PBI), y Ecuador (1.01% del PBI 2021), países de menor extensión de bosques. La cadena productiva del sector maderero está dividida en tres etapas:

- Manejo Forestal: silvicultura – extracción de madera rolliza,
- Primera transformación: aserradero, cepilladura y fabricación de hojas de madera.
- Segunda transformación: muebles, fabricación de recipientes, etc.

En cuanto al manejo forestal, la producción de madera en el Perú ha venido cayendo en los últimos años debido principalmente a factores regulatorios. En el período 2012 - 2016, la producción de madera rolliza cayó 36%, pasando de 2,3 millones a 1,4 millones de m^3. Sin embargo, en el 2017, la producción se recuperó parcialmente (+17%), de 1,4 millones m^3 a 1,7 millones m^3 (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR, 2019). Ver Gráfica N° *2*.

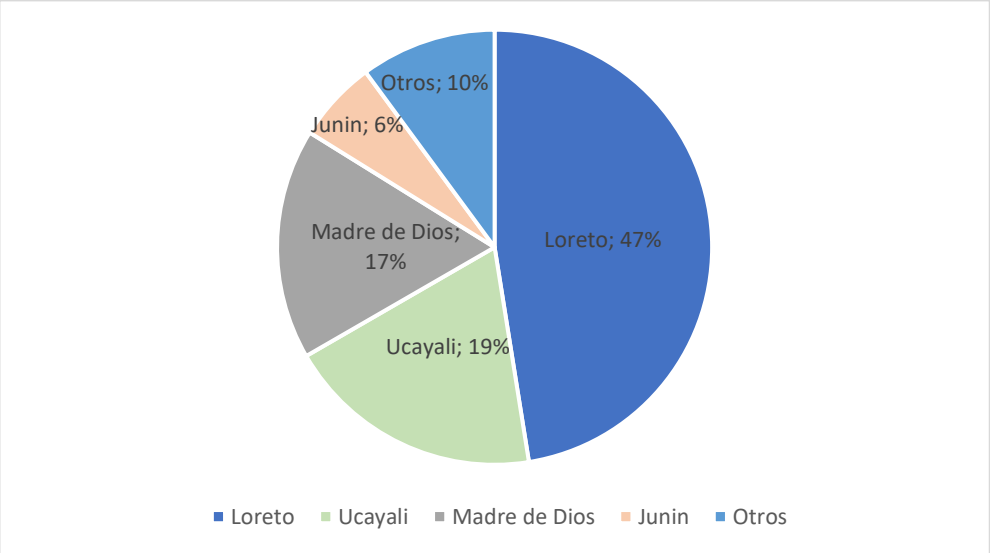
La mayor parte de la producción de madera en el Perú proviene de la selva. Loreto y Madre de Dios son las principales regiones productoras de madera rolliza, contribuyendo con el 64% y el 17% de la producción nacional, respectivamente. Ver Gráfica N° *3*.

Gráfica N° 2. Producción de Madera Rolliza (Millones de M3)



Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

Gráfica N° 3. Producción de Madera Rolliza por Región (2017)

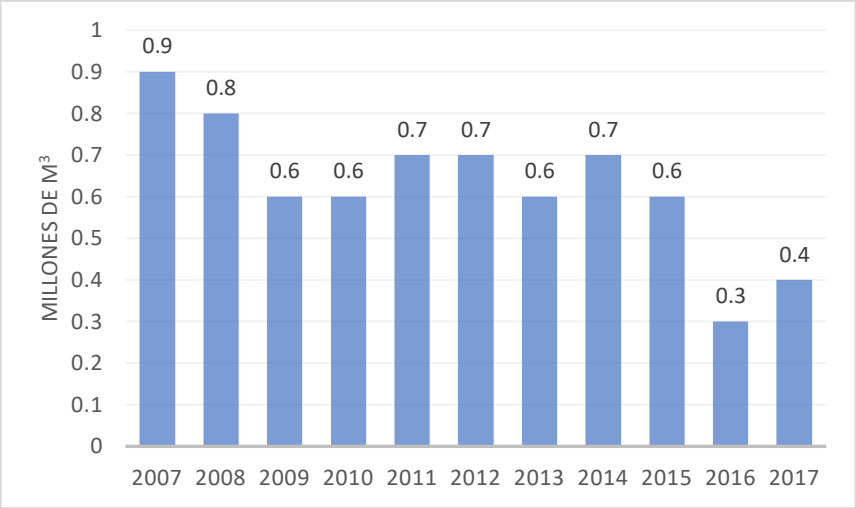


Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

En 2017 la producción de madera transformada ascendió a 499 mil m^3, siendo la producción de madera aserrada el principal producto. En la última década, la producción de productos de madera procesada ha decrecido de manera continua, aunque en 2017 experimentó un aumento del 28% gracias a una mayor producción de parquet, madera laminada y madera aserrada. (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR, 2019). Ver Gráfica N° *4*. En el caso de la madera aserrada, Loreto (33%), Madre de Dios (16%) y Ucayali (16%) son los

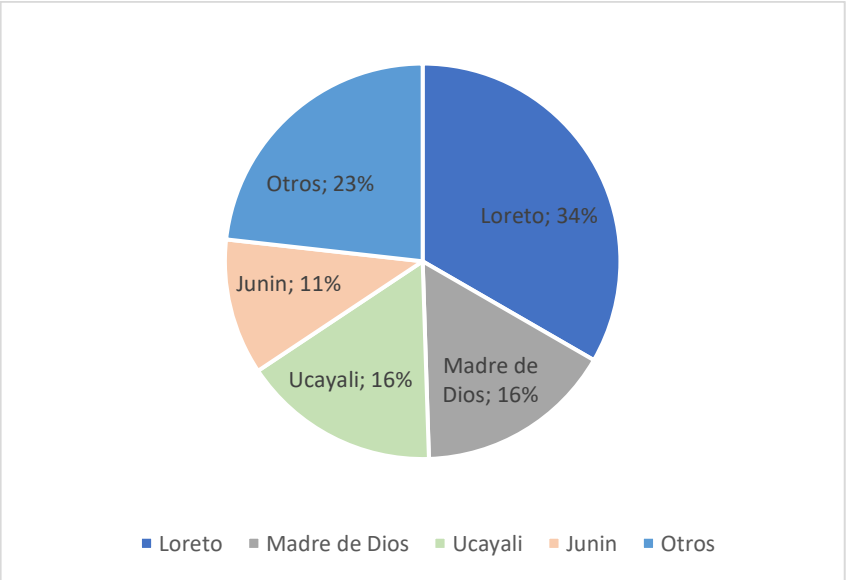
mayores productores del principal producto de madera procesada. Ver Gráfica N° 5.

Gráfica N° 4. Producción de Madera Aserrada (Millones de M3)



Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

Gráfica N° 5. Producción de Madera Aserrada por Región (2017)



Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

El sector forestal representa menos del 1% de la producción nacional, equivalente al 0,98% del PBI. Sin embargo, en las regiones de la selva, su contribución a las economías locales supera en promedio el 12%. Madre de Dios lidera con un 16% de su PBI regional, mientras que, en Loreto, contribuye con el 11% de su PBI, y

en Ucayali, representa el 9,7% de su PBI. Estas tres regiones son las que tienen la mayor participación en el PBI forestal, representando en conjunto el 43% de esta contribución.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), la actividad forestal, que incluye la extracción y transformación de madera, genera aproximadamente 180 mil puestos de trabajo, lo que representa el 1,1% de la fuerza laboral nacional (un total de 16,507 empleos en 2017). A pesar de que esta cifra es relativamente baja en el contexto nacional, en las regiones de la selva se convierte en una de las actividades económicas más relevantes dentro del sector agropecuario.

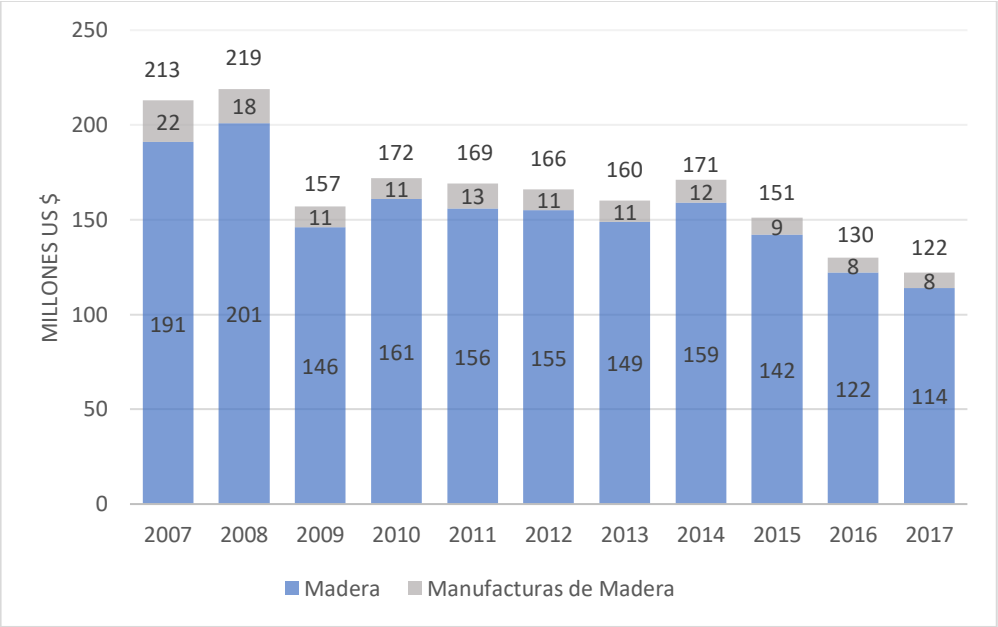
En Madre de Dios, la actividad forestal representa el 7% de la fuerza laboral total en la región. En Ucayali, este sector emplea al 6% de la población activa, y en Loreto, el 3% de los ocupados trabaja en actividades forestales. Es importante destacar que, dentro del sector forestal, el 12% de los empleos se centra en silvicultura y extracción de madera, mientras que el 88% de los puestos de trabajo están en la industria maderera.

3.1.2. EXPORTACIONES PERUANAS DE MADERA

Según el Reporte Comercial de Productos Madera del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2018) las exportaciones de madera decayeron entre los años 2008 y 2009 debido a la crisis internacional del año 2008 que afectó en general la demanda mundial de madera. Antes de que ocurriera la crisis en 2008, las exportaciones de Perú experimentaron un aumento significativo, pasando de menos de $100 millones a principios del siglo a superar los $200 millones en el año 2008.

Después de la crisis de 2008, las exportaciones de madera se mantuvieron constantes en alrededor de $165 millones en los años siguientes. No obstante, en el período comprendido entre 2015 y 2017, estas exportaciones sufrieron una disminución del 28%, alcanzando en 2017 su punto más bajo en los últimos 13 años, con solo $122 millones. Ver Gráfica N° 6.

Gráfica N° 6. Exportación de Madera 2007 – 20017 (Millones US$)



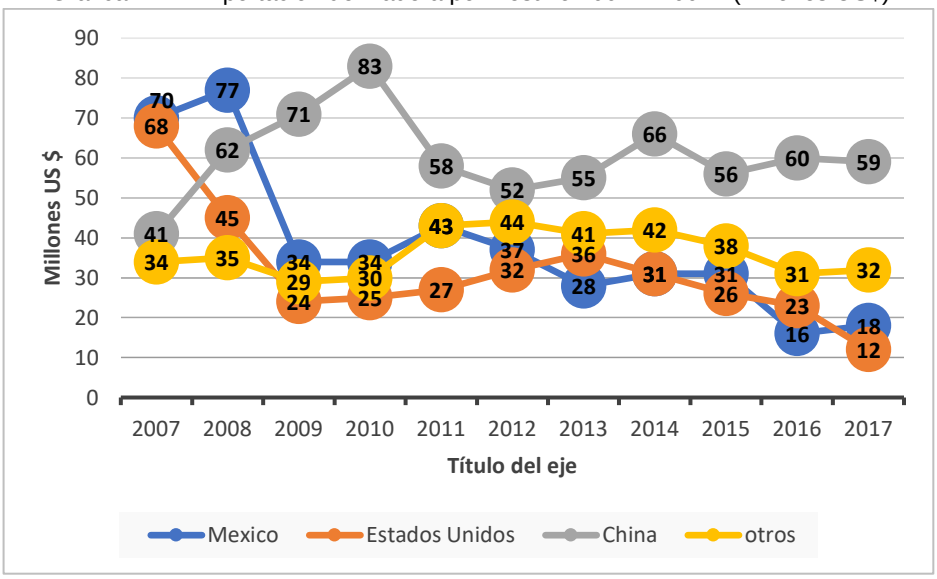
Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

La disminución en la cantidad de productos que Perú puede exportar se ha producido debido a regulaciones destinadas a combatir la tala ilegal de árboles. A diferencia de Chile, donde la madera exportada proviene principalmente de plantaciones, en Perú proviene en su mayoría de bosques naturales, lo que le plantea una serie de desafíos adicionales en los mercados internacionales.

Las exportaciones de Perú a varios mercados han mostrado variaciones dispares. Mientras que las exportaciones a Estados Unidos y México experimentaron un desempeño desfavorable, las exportaciones hacia China y otros destinos, incluyendo Europa, se mantuvieron relativamente estables. Ver Gráfica N° 7.

En la actualidad, China es el mercado predominante para las exportaciones de madera de Perú, representando el 49%. En contraste, en 2007, México y Estados Unidos eran los principales destinos de las exportaciones peruanas, abarcando más del 60% en conjunto, mientras que China representaba tan solo el 20% del total de las exportaciones de madera y productos de madera de Perú.

Gráfica N° 7. Exportación de Madera por Destino 2007 – 20017 (Millones US$)

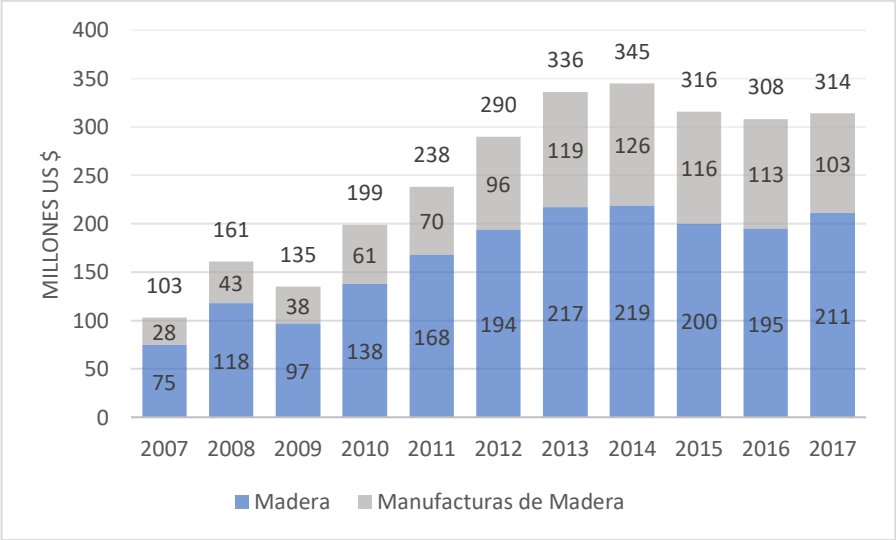


Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

3.1.3. IMPORTACIONES PERUANAS DE MADERA

Durante la última década, las adquisiciones de madera en Perú, incluyendo productos manufacturados de madera, han experimentado un crecimiento sustancial, con una ligera disminución en el período 2015-2016. En el año 2017, las importaciones alcanzaron un valor de $313 millones, lo cual representa tres veces la cantidad importada hace una década. Ver Gráfica N° 8

Gráfica N° 8. Importación de Madera 2007 – 20017 (Millones US$)

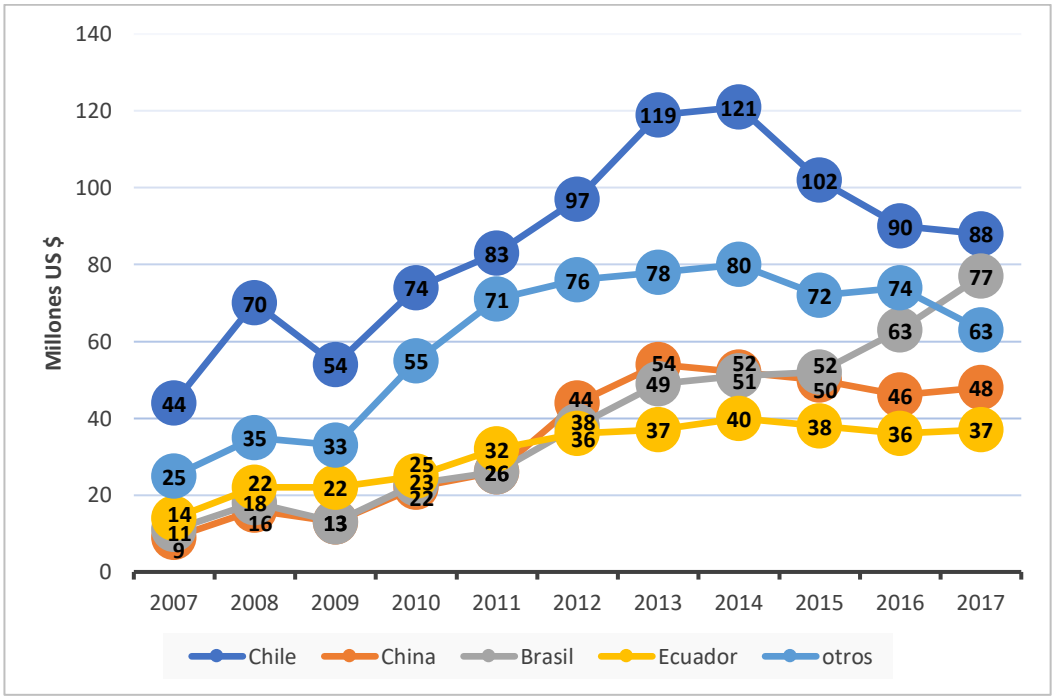


Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

Los países predominantes de donde provienen las importaciones de madera en Perú son Chile (28%) y Brasil (25%), los cuales son los principales proveedores de madera en la región. Como se ilustra en el gráfico número 6, las importaciones procedentes de Brasil han mantenido un aumento constante en los últimos años, llegando a alcanzar los $77 millones en 2017. Ver Gráfica N° 9.

Además, Perú ha experimentado un aumento en sus importaciones de madera procedente de China y Ecuador. De China, las principales importaciones peruanas incluyen principalmente muebles de madera, sillas y madera contrachapada. Por otro lado, desde Ecuador, Perú importa principalmente tableros de madera aglomerada. Además, Perú también adquiere tableros aglomerados de España.

Gráfica N° 9. Importación de Madera por Destino 2007 – 20017 (Millones US$)



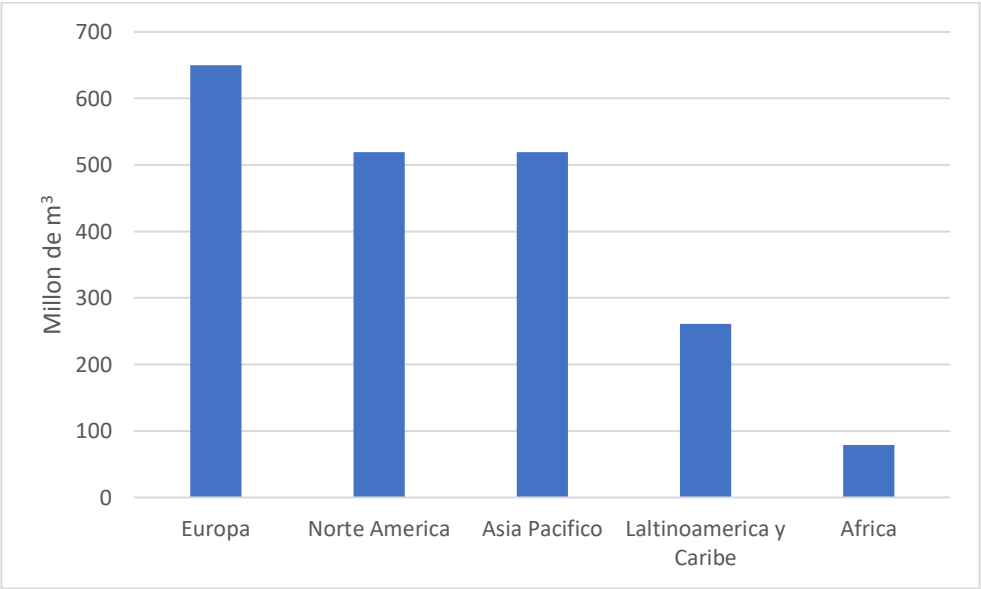
Elaboración Propia. Fuente: SERFOR.

3.1.4. COMERCIO INTERNACIONAL DE MADERA

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en 2018, la producción y comercio global de productos forestales alcanzaron sus niveles más altos desde 1947. Todos los principales productos derivados de la madera experimentaron un aumento en su producción, exportación e importación.

La madera en rollo industrial es aquella utilizada para cualquier propósito que no sea la energía. La producción mundial de madera en rollo industrial ascendió a 2 028 millones de m³ en 2018. Esto es un aumento del 5.2 por ciento en comparación con 2017 (1 826 millones de m³) y 8.9 por ciento en comparación al nivel en 2014. En 2018, la producción en cada región alcanzó las siguientes cifras: Europa (incluyendo la Federación de Rusia) - 650 millones de m³ (32 por ciento); Norte América (EE. UU. Y Canadá) y Asia-Pacífico: cada uno 519 millones de m³ (51 por ciento cada uno); América Latina y el Caribe: 261 millones m³ (13 por ciento); y África: 79 millones de m³ (4 por ciento). Ver Gráfica N° 10.

Gráfica N° 10. Producción por Región Mundial de Madera en Rollo Industrial (2018)



Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

A nivel de país, los cinco mayores productores de madera en rollo industrial son los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, China, Brasil y Canadá (Ver Cuadro N°3). Juntos, estos países produjeron 1 077 millones de m³ en 2018, o el 53% de las extracciones globales totales (2 028 millones de m3). Estados Unidos es el mayor productor del mundo con 365 millones m³, la Federación de Rusia produjo 223 millones m³ y China: 183 millones m³. En Brasil se produjeron 162 millones m³, mientras que Canadá alcanzó los 142 millones m³. En adición a ello, Brasil superó a Canadá para convertirse en el cuarto mayor productor de madera en rollo industrial en 2018 (Ver Gráfica N° 11). En la Gráfica N° 12 se puede apreciar la variación de la producción de madera en rollo de los 5 primeros

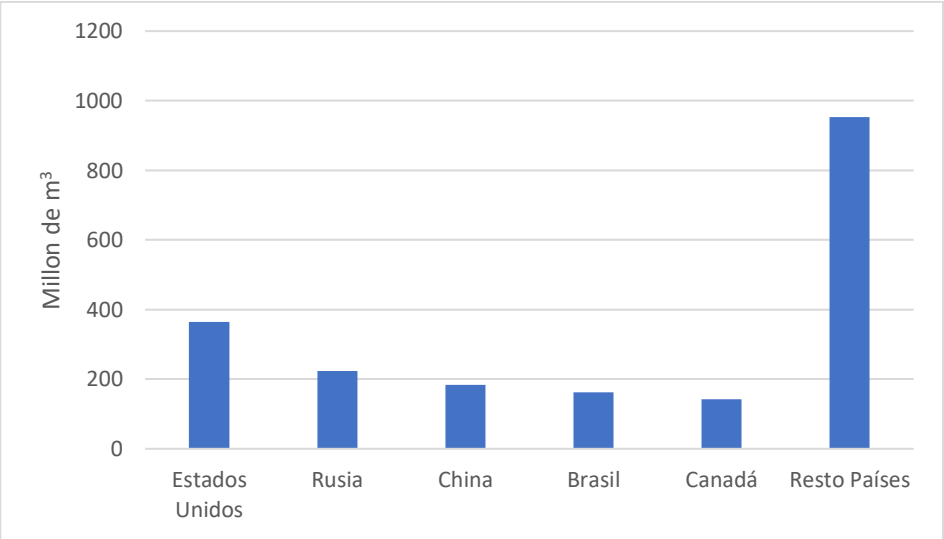
productores del mundo respecto a los años 2016, 2017 y 2018. Un caso notable es el aumento de producción de Brasil a comparación de Canadá, país cuya producción decayó hasta el 2018, quedando sobrepasado por Brasil en el 2017 y lo mismo en el 2018.

Cuadro N°3. Volumen de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial (2018).

Países	Volumen (Millones de m3)	Porcentaje de Volumen
Estados Unidos	365	18%
Rusia	223	11%
China	183	9%
Brasil	162	8%
Canadá	142	7%
Resto Países	953	47%
Total	2,028	100%

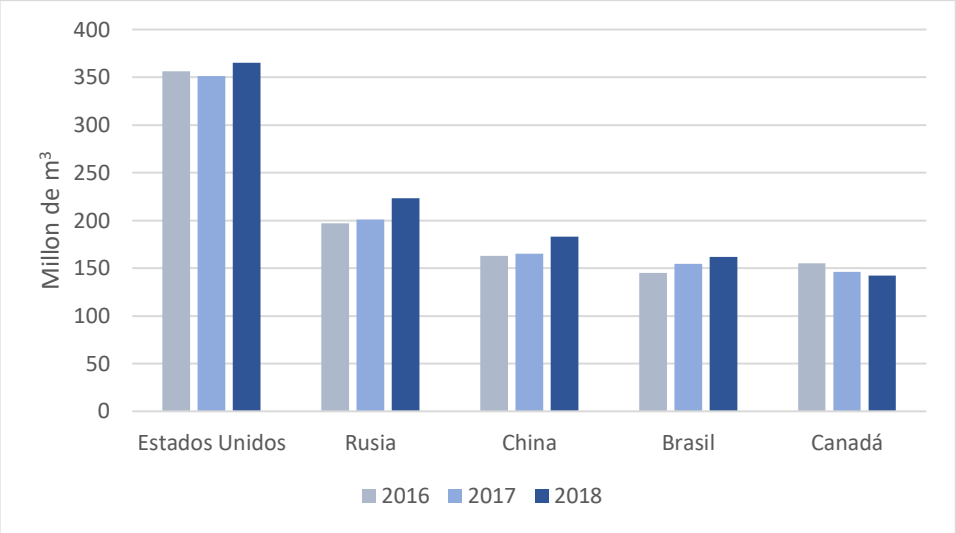
Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

Gráfica N° 11. Comparativo de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial (2018)



Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

Gráfica N° 12. Variación de Principales Productores de Madera en Rollo Industrial año: 2016, 2017 y 2018



Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

A nivel de consumo, los cinco mayores productores son también los cinco mayores consumidores. Estados Unidos es el mayor consumidor (356 millones de m³ en 2018), el consumo aumentó en un 4 %. China es segunda economía que más consume madera (240 millones de m³ en 2018), con un aumento del 11 por ciento en 2018. La Federación Rusa es la tercera consumidora con 200 millones de m³ (Ver Gráfica N° 13).

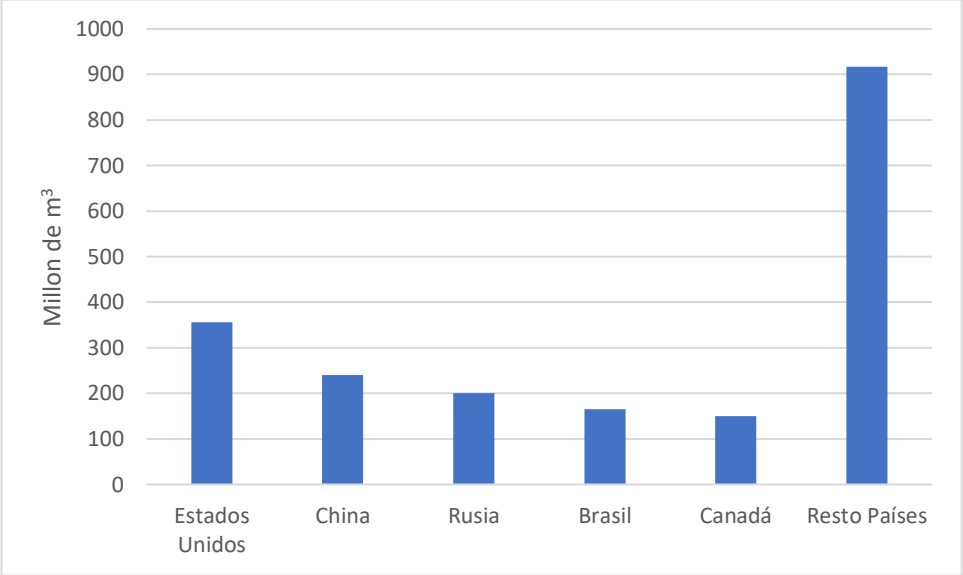
Desde 2014, el consumo ha crecido en todos los principales países consumidores excepto Canadá, donde permaneció plano en alrededor de 150 millones de m³ (Ver Gráfica N° 14).

Cuadro N°4. Volumen de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial (2018).

Países	Volumen (Millones de m3)	Porcentaje de Volumen
Estados Unidos	356	18%
China	240	12%
Rusia	200	10%
Brasil	165	8%
Canadá	150	7%
Resto Países	917	45%
Total	2,028	100%

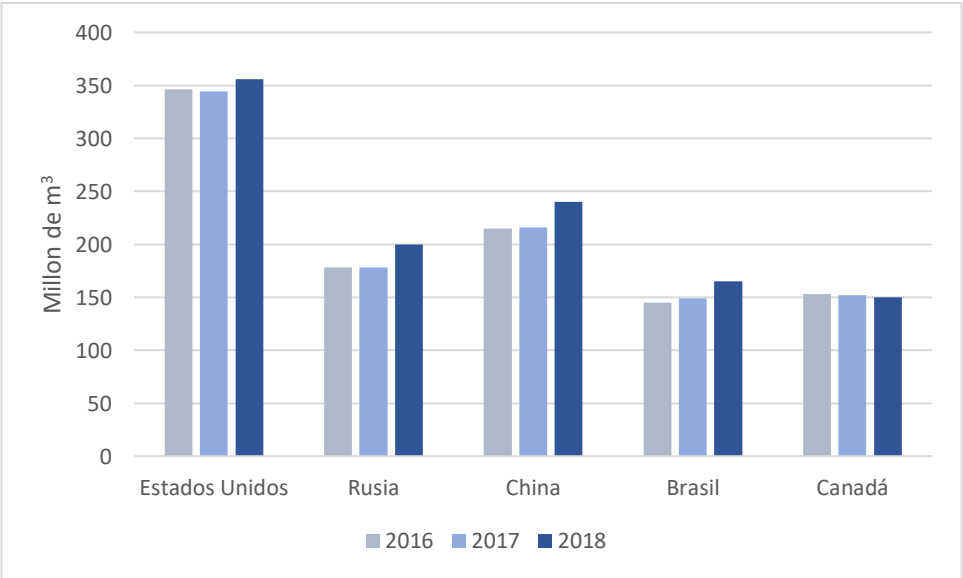
Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

Gráfica N° 13. Comparativo de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial (2018)



Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

Gráfica N° 14. Variación de Principales Consumidores de Madera en Rollo Industrial año: 2016, 2017 y 2018



Elaboración Propia. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

3.1.5. LINEAMIENTOS POLÍTICOS DE LA INVERSION PÚBLICA EN DESARROLLO FORESTAL (2015 - 2021)

En países desarrollados, el uso de madera en la industria de la construcción es común y extenso, especialmente en el diseño de viviendas, debido a sus características físicas y mecánicas. A pesar de esto, no conlleva a la depredación de sus bosques naturales debido a las modernas técnicas de explotación forestal y políticas de plantación. Por ejemplo, en Estados Unidos, con una política conjunta entre entidades privadas y gubernamentales, se plantan más árboles de los que se talan, garantizando así la provisión futura de madera. Informes indican que en el pasado se plantaban 5 millones de árboles al día, y en la actualidad, esta cifra ha aumentado debido a la alta demanda de madera (Jhosephson, 1989). En Canadá, la industria forestal ha prosperado durante más de un siglo, pero para enfrentar la competencia actual, se ha adoptado un modelo industrial eficiente. El Programa de Modelo Forestal, implementado en 1992, se enfoca en la silvicultura sostenible y la siembra masiva de árboles. Además, se han aplicado medidas de protección para las zonas ribereñas, hábitats silvestres y especies sensibles, junto con regulaciones sobre la tala sostenible, estas medidas les ha permitido sembrar 650 millones de árboles al año.

El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) han coordinado para aumentar la inversión pública en el sector forestal. El MINAGRI ha formulado los Lineamientos de Política de Inversión Pública en Desarrollo Forestal (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR, 2016), estableciendo las líneas de trabajo para impulsar la productividad y competitividad del sector forestal durante el período 2015-2021. Se ha desarrollado una serie de lineamientos de política y acciones priorizadas para el logro de estos objetivos en base a los siguientes ejes temáticos:

- Objetivo General

Mejorar la productividad y competitividad del sector forestal peruano, en un marco de desarrollo sostenible, generando procesos de inclusión social a través de la articulación de las actividades forestales a los mercados.

- Objetivos Específicos

Establecer un marco institucional que promueva una gestión sostenible, competitiva y culturalmente inclusiva del patrimonio forestal, fomentando la gobernanza, gobernabilidad, confianza y cooperación entre todos los actores involucrados.

Asegurar el uso sostenible de los recursos forestales mediante una gestión integrada que incluya el ordenamiento forestal y la seguridad de los derechos adquiridos.

Promover negocios competitivos a nivel nacional e internacional, con enfoque en productos con alto valor agregado y rentabilidad, para mantener la contribución de los recursos forestales a la economía nacional y desalentar cambios en el uso del bosque.

Promover el manejo forestal sostenible realizado por privados y por las comunidades campesinas y nativas.

- Desarrollo de plantaciones forestales con fines comerciales y/o industriales.
- Desarrollo de plantaciones forestales con fines de protección.
- Desarrollo de la industria forestal.
- Promover la ciencia, tecnología e innovación en el sector forestal.
- Mejorar el marco institucional en el sector forestal.
- Promover el manejo forestal sostenible de los bosques, aplicando criterios ecosistémicos e interculturales.

3.1.5.1. Desarrollo de plantaciones forestales con fines comerciales y/o industriales.

Como lineamiento político tiene como fin incrementar la inversión en el desarrollo de una forestería comercial e industrial, asi también, integrar las plantaciones forestales al desarrollo de una industria forestal competitiva y de alto valor agregado

Cuadro N°5. Políticas y estrategias referidas al desarrollo de Plantaciones Forestales con fines comerciales y/o industriales.

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Desarrollar plantaciones forestales con fines comerciales y/o industriales a gran escala para el suministro de materia prima y productos con valor agregado a los mercados nacionales e internacional	Incrementar la inversión en el desarrollo de una forestería comercial e industrial	Cofinanciar proyectos públicos privados para ampliar cobertura arbórea con fines industriales. Apoyar a micro, pequeñas y medianas empresas en negocios viables en producción a gran escala. Garantizar la seguridad jurídica de las inversiones en plantaciones forestales. Consolidar un sistema de información sobre superficies con potencial para el desarrollo de plantaciones forestales.
	Integrar las plantaciones forestales al desarrollo de una industria forestal competitiva y de alto valor agregado.	Diseñar e implementar un sistema de certificación forestal. Fomentar conglomerados de plantaciones comerciales e industriales. Impulsar la asociatividad forestal entre productores y empresas. Crear incentivos para emprendimientos privados basados en plantaciones forestales.

Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.2. Desarrollo de plantaciones forestales con fines de protección

Cuadro N°6. Políticas y estrategias de desarrollo de plantaciones forestales con fines de protección.

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Promover el financiamiento, establecimiento y manejo de plantaciones forestales con fines de protección.	Recuperar áreas forestales degradadas.	Fomentar programas y esquemas público privado de reforestación y forestación con enfoque sostenible y vinculados a actividades productivas. Desarrollar programas de recuperación de áreas forestales degradadas en cumplimiento de compromisos internacionales. Promover el manejo sostenible de bosques comunales y locales. Promover el manejo sostenible de bosques comunales y locales.
	Implementar mecanismos de financiamiento para establecer y gestionar plantaciones forestales con fines de protección.	Facilitar la obtención de recursos internacionales y privados para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales con fines de protección. Implementar mecanismos de pago por servicios ambientales para plantaciones forestales.

Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.3. Desarrollo de la industria forestal.

Cuadro N°7. Políticas y estrategias referidas al desarrollo de la industria forestal

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Promover el financiamiento, establecimiento y manejo de plantaciones forestales con fines de protección.	Fomentar la creación y desarrollo de clusters.	Implementar incentivos forestales para promover empresas que aprovechen productivamente los bosques naturales.
	Mejorar la oferta exportable de productos forestales con estándares internacionales.	Promover certificaciones de manejo forestal para facilitar la inserción de productos con valor agregado en el mercado internacional. Capacitar a productores forestales en normalización, gestión de calidad y estándares internacionales.
	Implementar el financiamiento para impulsar la producción, industrialización y comercialización de productos forestales.	Crear un modelo de fondos concursables para incentivar el manejo forestal en concesiones maderables y no maderables. Diseñar un esquema de fondos fiduciarios para generar riqueza forestal renovable.

Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.4. Promover la ciencia, tecnología e innovación en el sector forestal.

Cuadro N°8. Políticas y estrategias referidas a la provisión de conocimiento, ciencia y tecnología a los agentes vinculados al sector forestal.

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Promover la generación de nuevos conocimientos y desarrollo tecnológico que demanda la actividad forestal.	Mejorar la capacidad gerencial y el desarrollo de competencias de las empresas y organizaciones del sector forestal.	Plan para fortalecer capacidades, actualizar y transferir tecnología a los productores del sector. Fomentar programas de educación formal y no formal adaptados a las necesidades del sector forestal y sus clientes. Aplicar la experiencia de los Centros de Innovación Tecnológica a productos derivados de los bosques naturales.
	Impulsar la investigación e innovación tecnológica forestal enfocada a las necesidades del sector.	Fomentar la participación de empresas y universidades en investigaciones forestales. Promover la educación especializada en plantaciones forestales con fines comerciales e industriales. Priorizar inversiones modernas en plantaciones forestales sin uso de biotecnología transgénica.

Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.5. Mejorar el Marco Institucional en el sector forestal.

Cuadro N°9. Políticas y estrategias referidas al desarrollo de la industria forestal

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Garantizar una Eficiente gestión institucional de las inversiones en recursos forestales	Fortalecer la institución pública forestal, delimitando los ámbitos de competencia, funciones y responsabilidades.	Fortalecer el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) como autoridad nacional y a las autoridades regionales y locales en el sector forestal. Priorizar la marcha del Plan Nacional Forestal y de Fauna Silvestre y del Plan Nacional de Plantaciones Forestales. Lucha contra la Tala y el Comercio Ilegal de productos forestales.
	Mejorar la normatividad nacional para el aprovechamiento productivo y sostenible de los bosques naturales.	Crear regulaciones para impulsar la participación de pymes en la industria forestal, priorizar la certificación de terrenos con plantaciones, fortalecer la planificación forestal, y simplificar la aprobación de planes de manejo a nivel regional y local.
	Implementar una plataforma oficial de información forestal.	Mejorar el control forestal mediante el Sistema Nacional de Información Forestal. Proveer información actualizada sobre los recursos forestales y las innovaciones alcanzadas para beneficiar a los usuarios del sector.

Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.6. Promover el manejo sostenible de los bosques naturales.

Cuadro N°10. Políticas y estrategias referidas al manejo forestal sostenible de los bosques.

Objetivo	Lineamiento Político	Acciones Priorizadas
Fortalecer el manejo forestal de los bosques.	Promover la sostenibilidad del manejo de los bosques naturales y plantados.	Se propone elaborar un inventario nacional forestal que incluya tierras y plantaciones de protección, promover el potencial económico mediante la zonificación forestal, implementar un sistema de monitoreo y evaluación del impacto de las actividades forestales y priorizar programas de desarrollo en el sector forestal, tanto maderable como no maderable, además del aprovechamiento de la fauna silvestre.
	Promover la sostenibilidad del manejo de los bosques comunales y bajo conducción de privados	Se plantea la elaboración de medidas destinadas a apreciar y divulgar la sabiduría ancestral, detectar regiones con potencial para el desarrollo de comunidades indígenas, ejecutar estrategias de gestión forestal colaborativa a nivel comunitario y brindar apoyo técnico para garantizar la correcta administración de los recursos forestales.

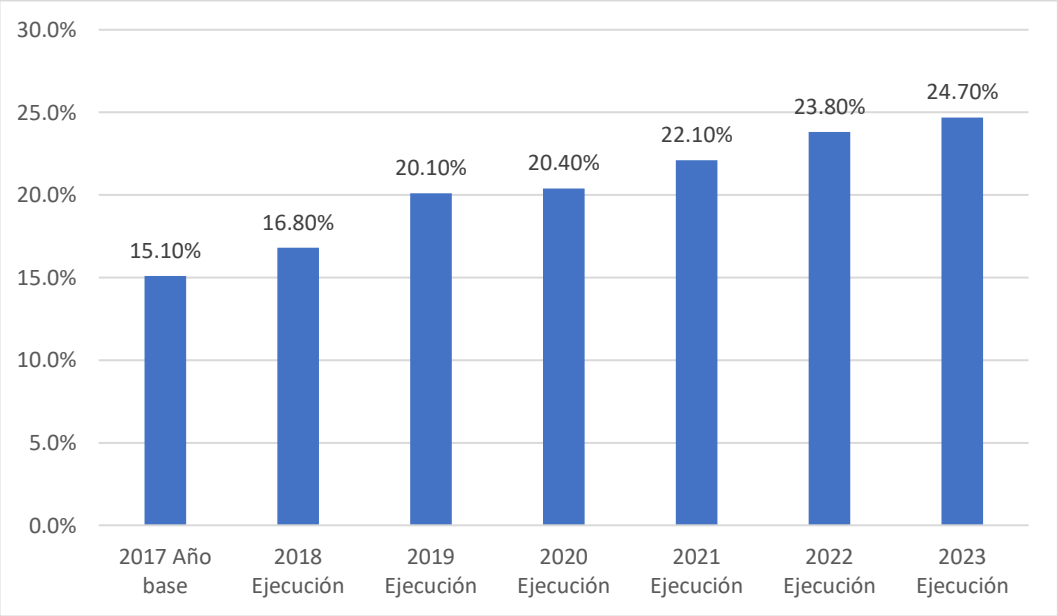
Elaboración Propia. Fuente: Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015 -2021. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2016)

3.1.5.7. Resultados esperados de la política de inversión pública en desarrollo forestal (2023).

Los resultados esperados de la implementación de los Lineamientos de Política de Inversión Pública en Desarrollo Forestal, han sido extraído del último Informe de Evaluación Institucional. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2023).

En el 2023, el 24.72 % (13,102,291 hectáreas) del total de bosques cuenta con un plan de manejo formal para el aprovechamiento sostenible del recurso forestal. Esto permite garantizar la legalidad de los productos forestales, así como la conservación del recurso forestal y de la fauna silvestre. Se evidencia que a partir del 2017 (año base), el porcentaje de bosques que cuentan con aprovechamiento sostenible han ido en aumento debido a los lineamientos políticos propuestos. (Ver Gráfica N° 15).

Gráfica N° 15. Variación de porcentajes de bosques que cuentan con plan de manejo de aprovechamiento de Recursos forestales.

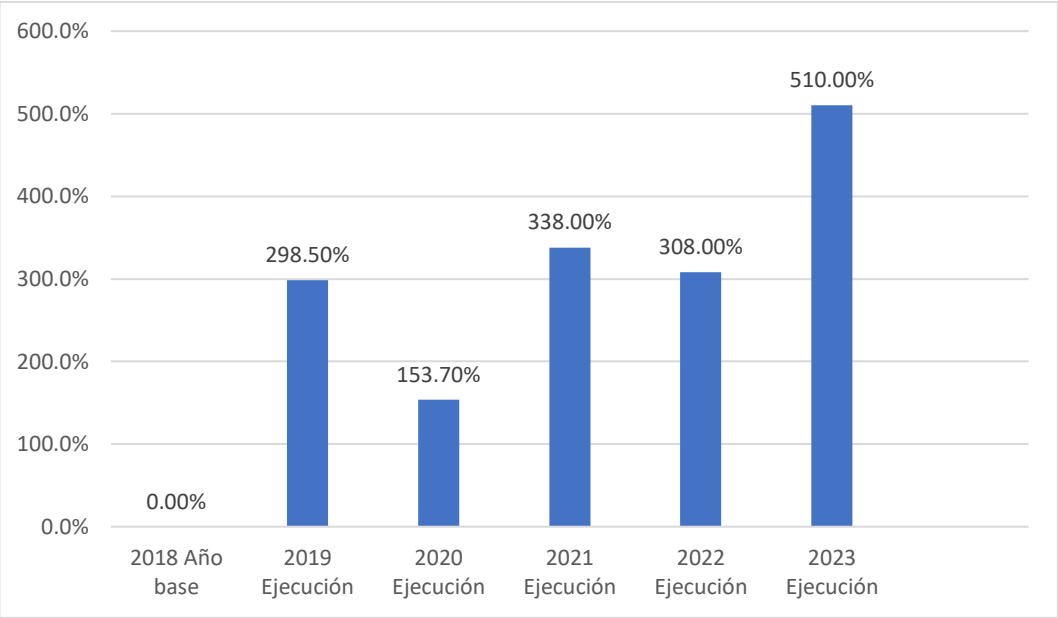


Elaboración Propia. Fuente: Informe de Evaluación Institucional. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2023)

Por otro lado, el indicador “Porcentaje de cumplimiento de las metas de superficie de plantaciones forestales” alcanzó un avance del 510%. Esto se debe a que, para el período comprendido entre 2023 y 2030, se programó una meta total de 12,500

hectáreas, con un objetivo anual de 1,562.5 hectáreas (12.50%). Ver Gráfica N° 19. En 2023, la superficie de plantaciones forestales fue de 7,973 hectáreas, según lo reportado por las Autoridades Regionales Forestales y de Fauna Silvestre (ATFFS) mediante el aplicativo de Registro Nacional de Plantaciones Forestales.

Gráfica N° 16. Variación de porcentajes de cumplimiento de las metas de superficie de plantaciones forestales.



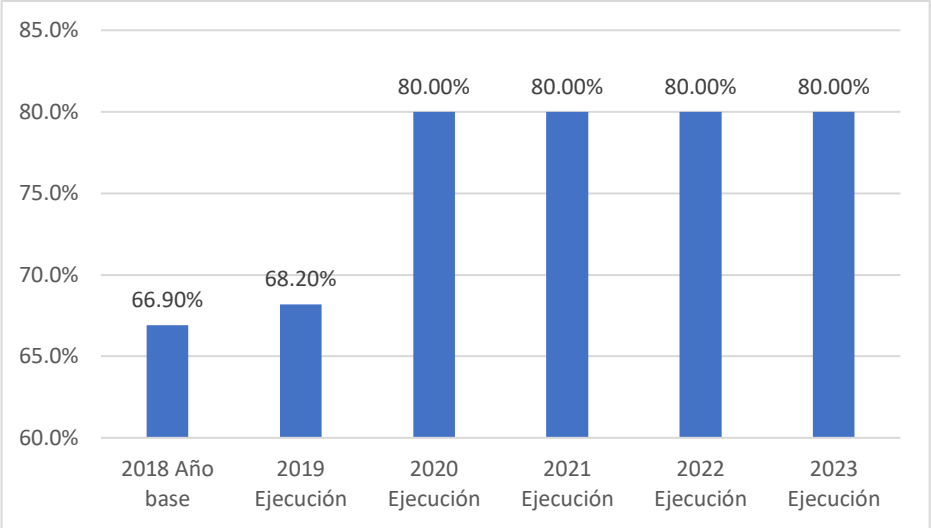
Elaboración Propia. Fuente: Informe de Evaluación Institucional.
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2023)

Finalmente, el indicador "Fortalecer la gestión institucional" mide el grado de cumplimiento de las actividades planificadas para alcanzar los objetivos específicos establecidos en la Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública. En 2023, se logró un cumplimiento del 80.0% (Ver Gráfica N° 20), según se detalla a continuación:

- Políticas Públicas, Planes Estratégicos y Operativos; la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (PNFFS) se encuentra con alto grado de avance; se aprobó el Plan Operativo Institucional (POI) Multianual 2022-2024 del SERFOR; y se aprobó la extensión del Plan Estratégico Institucional (PEI) 2019-2022 del SERFOR, al año 2024.

- Presupuesto para Resultados; gran parte del presupuesto ejecutado se encuentra programado en los programas presupuestales; dicho presupuesto se encuentra articulado con el Plan Operativo y con el Plan Estratégico Institucional.

Gráfica N° 17. Variación de porcentajes del cumplimiento de las metas de actividades planificadas de los objetivos establecidos en la Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública



Elaboración Propia. Fuente: Informe de Evaluación Institucional. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2023)

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP.)*

3.2.1. PROCEDENCIA DEL PASHACO (*ALBIZZIA SP*.)

La especie forestal Pashaco (*Albizzia sp*.) geográficamente se encuentra distribuida desde el Sur de México, América Central, Colombia, Ecuador, Brasil, Perú y Bolivia, por lo que recibe varios nombres comunes, de acuerdo a la zona, región o país donde se encuentre. En el Ecuador y Perú es conocido con el nombre de pashaco y pino chuncho. En Bolivia se le define como serebo. En Colombia y en gran parte de Centroamérica se le denomina tambor y zorra. En Brasil recibe los nombres de parica o paricá grande, pinho ciuabano, guapuruvú, faveira branca, bacurubú, pinho, pau de ventém y ficheiro. En México se le conoce como judío.

Esta especie se encuentra en los bosques primarios de la Amazonía peruana y brasileña, en áreas inundables. En Perú, se localiza en los departamentos de Huánuco, San Martín, Loreto y Ucayali, a altitudes de 0 a 1000 metros sobre el nivel del mar, en formaciones de bosques húmedos subtropicales, ver Figura N°5. El suelo en el cual crecen se caracteriza por ser bien drenado, tanto en las partes altas y bajas de los boques primarios y secundarios. La especie existe en gran cantidad en la selva central peruana, y en menor número en la selva sur de la amazonia del Perú.

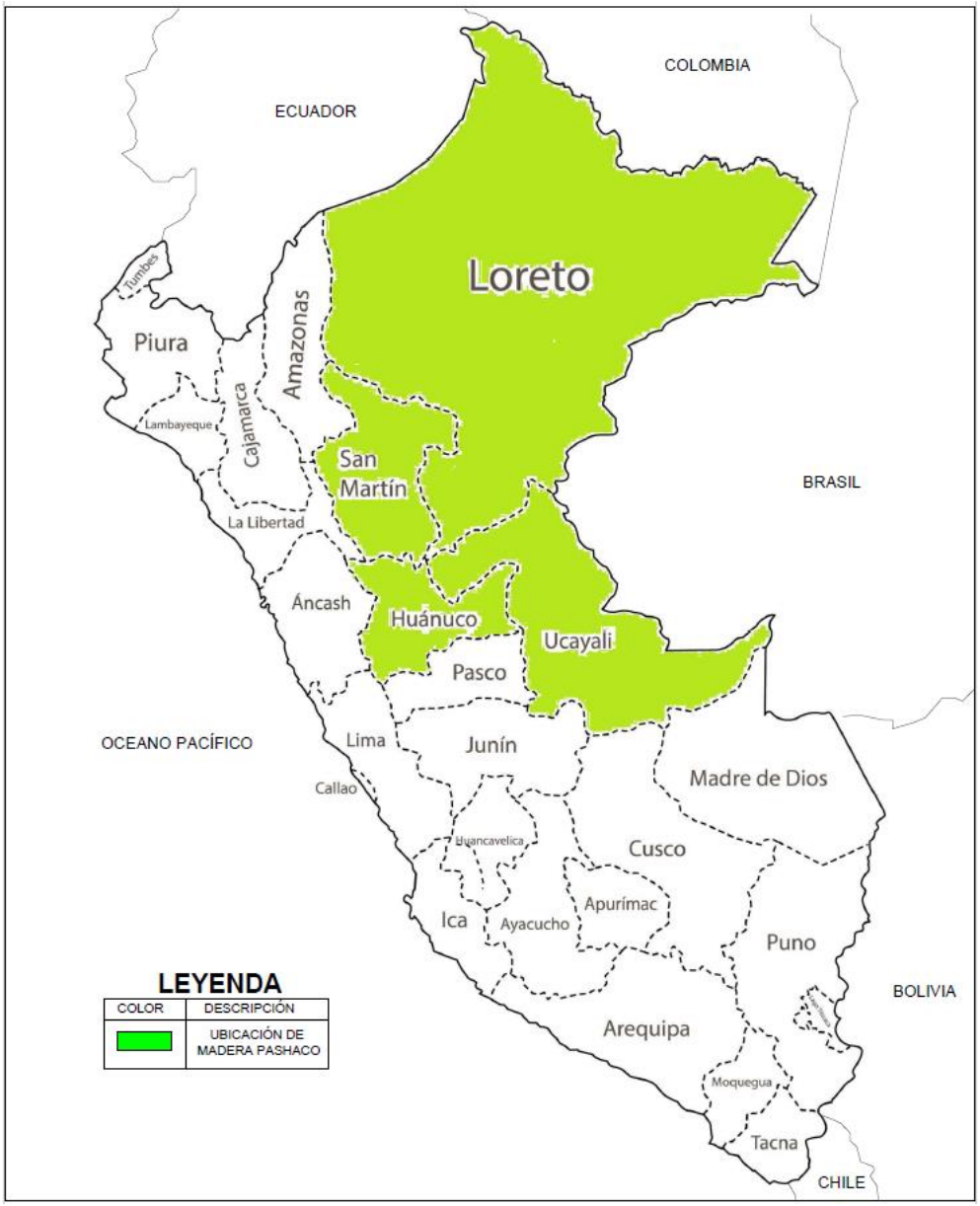


Figura N°5. Mapa de ubicación de la madera Pashaco en el Perú.
Elaboración: Propia.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE FORESTAL PASHACO (*ALBIZZIA SP*.)

El árbol de la especie forestal Pashaco (*Albizzia sp*.) llega a una altura de 30 metros, posee una altura comercial promedio de 25 metros, el diámetro a la altura del pecho oscila entre los 40cm y 100cm. Posee un tronco cilíndrico, ligeramente cónico. La corteza externa es de color marrón grisácea, de textura compacta, arenosa, ligeramente áspera y olor fétido, con un espesor de 2 a 4 cm. La corteza interna es de color blanco y textura lisa.

3.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP*.)

- Color: Rojo.
- Olor: No distintivo.
- Lustre o brillo: Medio.
- Grano: Entrecruzado.
- Textura: Gruesa.
- Veteado o Figura: Arcos Superpuestos.
- Dureza y Peso: Blanda y Liviana.

3.2.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP*.)

Las propiedades físicas y mecánicas que a continuación de prestan son datos extraídos del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Este estudio se realizó seleccionando 5 árboles de cada especie y tomando 2 muestras por cada árbol seleccionado; en resumen, se emplearon 10 muestras por cada árbol estudiado. Esta cantidad tubo una precisión del ±15% con respecto al promedio y un nivel de confianza del 95%.

3.2.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP*.)

- Densidad Básica: Es el cociente, expresada en porcentaje, entre el peso anhidro (seco) de la muestra de madera y su volumen saturado. La madera al tener la propiedad higroscópica (propiedad de absorber la humedad atmosférica) suele variar en masa y el volumen proporcionalmente al

contenido de humedad. Esta propiedad está directamente proporcional a las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera, es por ello su importancia (Ver Cuadro N°12).

- Contracción Radial: Es la variación de la medida de una muestra de madera en el sentido de los radios de la madera, entre los estados de verde (saturación) y estado seco (anhidro) (Ver Figura N°6).

Figura N°6. Contracción Radial.
Elaboración: Propia. Fuente: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

- Contracción Tangencial: Es la variación de la medida de una muestra de madera en el sentido perpendicular a los radios de la madera, entre los estados de verde (saturación) y estado seco (anhidro) (Ver Figura N°7).

Figura N°7. Contracción Tangencial.
Elaboración: Propia. Fuente: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

- Contracción Volumétrica: Es la diferencia volumétrica entre los estados de verde (saturación) y estado seco (anhidro) (Ver Figura N°8)

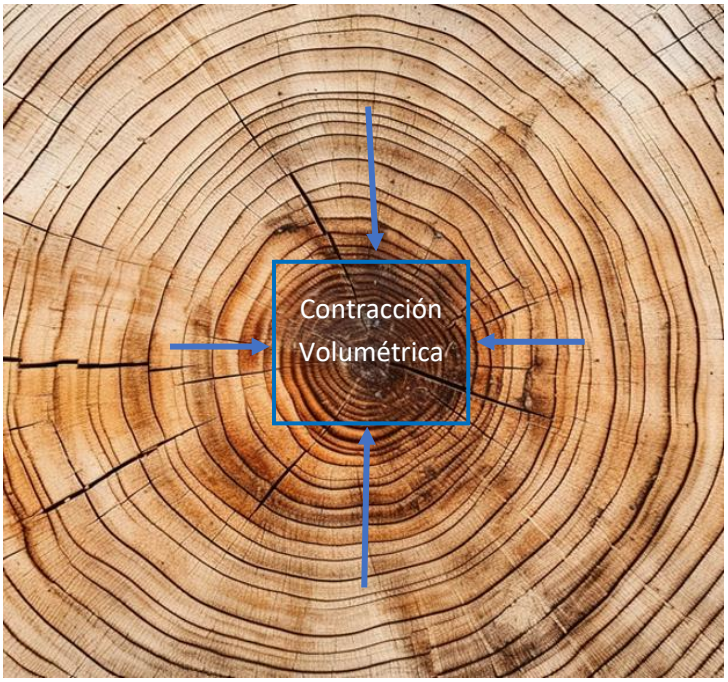


Figura N°8. Contracción Volumétrica.
Elaboración: Propia. Fuente: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

- Relación T/R: Es la relación entre la contracción tangencial y la contracción longitudinal (Ver Cuadro N°12)

Cuadro N°11. Peso Unitario – Contenido de Humedad de Madera Pashaco

PROPIEDADES FISICAS-MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP.*)	**Peso Unitario (kg/m3)**	**Contenido de Humedad (%)**
Pashaco	853	95

Elaboración Propia. Fuente: Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986)

Cuadro N°12. Propiedades Físicas de Madera Pashaco

PROPIEDADES FÍSICAS-MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP.*)	**ESTUDIO TECONOLÓGICO DE MADERAS EN EL PERÚ (ZONA PUCALPA) CARACTERISTICAS TECNOLÓGICAS DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT**		
	PROMEDIO	**DESV. ESTÁNDAR**	**COEF. VARIACIÓN**
DENSIDAD BÁSICA PROMEDIO (DB) gr/cm^3	0.45	0.17	108
DENSIDAD ANHIDRA (DA) gr/cm^3	0.5	0.21	117
Contracción Radial (DR) (%)	3.21	0.43	37
Contracción Tangencial (CT) (%)	7.25	2.45	94
Contracción Volumétrica (CV) (%)	9.49	2.58	75
Relación de Contracción Tangencial/Radia (T/R)	2.48 *		

Elaboración Propia. Fuente: Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986)

3.2.4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

- Esfuerzo al Límite Proporcional (ELP): Indica la resistencia que soporta la madera a los esfuerzos de compresión paralelo a las fibras y/o a cargas perpendiculares a su eje. En el caso de la resistencia a la flexión, es la

capacidad de la madera para resistir cargas que tienden a flectarla cuando se aplican en dirección perpendicular a las fibras (Ver Cuadro N°13).

- Módulo de Rotura (MOR): Se define como la resistencia máxima en la que un espécimen de madera llega a fallar, bajo esfuerzos de compresión paralelo a las fibras, a cargas perpendiculares a su eje y/o vigas a flexión. (Ver Cuadro N°13).
- Módulo de Elasticidad (MOE): El parámetro se obtiene a partir de una curva esfuerzo – deformación. También es posible determinarlo mediante métodos indirectos, como los ensayos de flexión. El MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión un criterio básico en su dimensionamiento. (Ver Cuadro N°13).

Como parte de un marco teórico y con el fin de contextualizar las propiedades de la madera Pashaco, se presenta el Cuadro N°13. Estos valores fueron obtenidos del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986)

Cuadro N°13. Propiedades Mecánicas de Madera Pashaco

PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO (*ALBIZZIA SP.*)	**ESTUDIO TECONOLÓGICO DE MADERAS EN EL PERÚ (ZONA PUCALPA) CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE 40 ESPECIESDEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT**		
	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
PROPIEDADES MECÁNICAS POR FLEXIÓN ESTÁTICA			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm^2	309	193	71
MÓDULO DE ROTURA (MOR) kg/cm^2	508	316	52
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE c/c) kg/cm^2	91600	52000	64
PROPIEDADES MECÁNICAS POR COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA A LA FIBRA			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm^2	238	132	63
MÓDULO DE ROTURA (MOR) kg/cm^2	273	144	60
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE c/c) kg/cm^2	110700	63000	65
PROPIEDADES MECÁNICAS POR COMPRESIÓN PERPENDICULAR			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm^2	55	41	84
DUREZA			
EXTREMOS en kg/cm^2	335	223	76
LADOS en kg/cm^2	334	301	102
CIZALLAMIENTO			
CIZALLAMIENTO en kg/cm^2	82	40	79
CLIVAJE			
CLIVAJE en kg/cm^2 de ancho	49	34	112
TRACCIÓN PERPENDICULAR			
TRACCIÓN PERPENDICULAR en kg/cm^2	46	20	71
TENACIDAD			
TENACIDAD en kg.m	2.8	2.4	193
EXTRACCIÓN DE CLAVOS			
EXTREMOS en kg x clavo	82	60	83
LADOS en kg x clavo	112	80	82

Elaboración Propia. Fuente: Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986)

3.2.4.3. SECADO DE MADERA PASHACO

Los resultados del secado natural de la madera Pashaco se presentan en el Cuadro N°14, en el cual se incluyen el contenido de humedad inicial y final, el tiempo de secado al aire hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio (15 ± 2% de humedad); también se incluye si dentro del proceso se llegó a observar la presencia de defectos de forma y apreciación de manchas por ataque de hongos. Estos valores fueron extraídos del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986).

El valor de contenido de humedad nos servirá de referencia, ya que, en el proceso de elaboración de los ensayos en laboratorio de la presente tesis, se realizará ensayos de contenido de humedad a la madera en estudio, por lo que los valores deben ser lo más cercanos a los mostrados en el Cuadro N°14.

Cuadro N°14. Propiedades Mecánicas de Madera Pashaco

SECADO NATURAL					
ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD CH (%)		TIEMPO DE SECADO - DÍAS	DEFECTOS DE NORMAS	MANCHAS
	INICIAL	FINAL			
PASHACO	70	13	110	Ninguna	Ninguna

Elaboración Propia. Fuente: Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Características Tecnológicas de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbodt. Aróstegui et al. (1986)

3.2.4.4. PROPIEDADES DE LAS MADERAS SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, NORMA TÉCNICA E010

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma técnica E0110, se clasifica a la madera en 3 grupos según el valor de su densidad básica. (Ver Cuadro N°15). De igual manera en la misma norma, se presentan valores de esfuerzo admisibles para los tres tipos de grupos (Ver Cuadro N°16).

Cuadro N°15. Densidad Básica para Maderas Latifoliadas

Grupo	**Densidad Básica gr/cm³**
A	≥ 0.71
B	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55

Elaboración Propia. Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma Técnica E010. Reglamento Nacional de Edificaciones (2021)

Cuadro N°16. Esfuerzos Admisibles para Maderas Latifoliadas MPa (kg/cm2)

Grupo	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c //$	Compresión Perpendicular $f_c \perp$	Corte Paralelo f_v
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Elaboración Propia. Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma Técnica E010. Reglamento Nacional de Edificaciones (2021)

La presente investigación servirá de aporte para tener conocimiento de los valores de esfuerzos admisibles que se generen en conexiones empernadas en la madera Pashaco.

CAPITULO IV: PERNOS

4.1. DEFINICIÓN

Los pernos son piezas de acero con bajo contenido de carbono que son aplicados en las conexiones de elementos estructurales, tomando las cargas pesadas y concentradas que sobre la estructura actúan (Ver Figura N°9). Por lo general en un extremo tiene una cabeza hexagonal y en el otro extremo se componen de una tuerca. En ambos extremos se coloca arandelas bajo la cabeza del perno y bajo la tuerca, la arandela debe tener un diámetro mínimo igual a 3d y un espesor mínimo de 0,3d (d es diámetro del perno). La arandela ha de tener pleno contacto con la superficie de la pieza.

Cabe resaltar que los pernos más delgados son más eficientes, esto porque la relación entre resistencia y volumen de material es mayor. Sin embargo, en una unión a menor diámetro del perno, es necesario un mayor número de pernos.

Figura N°9. Perno Hexagonal.

4.2. TIPOS DE PERNOS

En el contexto peruano, carecemos de un estudio o catálogo estandarizado que clasifique los pernos destinados a conexiones en madera según criterios específicos. Sin embargo, es relevante señalar la existencia de la RSCS (Research Council on Structural Connections), que es el consejo estadounidense especializado en la investigación de conexiones estructurales. Este consejo aborda las especificaciones relacionadas con el uso de pernos de alta resistencia en uniones estructurales, específicamente para pernos ASTM A325 y A490. Para la presente investigación se optó por los pernos regidos en la norma ASTM A307 grado A, resistencia de 60 KPSI, estos pernos son usados en uniones de

estructuras no sujetas a impactos o vibraciones, se aplican principalmente a estructuras ligeras y de aplicaciones similares, en las que las fuerzas son relativamente bajas, las cuales son utilizadas para el uso de estructuras de madera. Es por ello que, para darle una clasificación a la variedad de tipos de pernos existentes, se ha tomado como referencia la norma chilena NCh300-ISO 1891 (Elementos de fijación; Pernos, tuercas, tornillos y accesorios; Terminología y designación general) (Instituto Nacional de Normalización, 1996), en la cual los pernos son clasificados de la siguiente forma:

- Pernos con Cabeza Hexagonal:

Los pernos hexagonales tienen roscas parciales y son compatibles tanto con tuercas como con orificios roscados. Se aseguran con una llave y generalmente se emplean junto con tuercas hexagonales y arandelas apropiadas.

Figura N°10. Perno Cabeza Hexagonal.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Hexágono Interior

Disponibles en tamaños métricos totalmente roscados, finos, extra finos y gruesos, que se utilizan en varias aplicaciones para garantizar la máxima fuerza y para la aplicación que requiere alta resistencia al torque. Se fijan usando la herramienta hexagonal, la llave inglesa en forma de apriete o remoción, o se pueden fijar con una llave Allen

Figura N°11. Perno Hexágono Interior.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Cabeza Cuadrada

Lo utilizan para los bornes de batería, en el rubro eléctrico, minero y telefónico.

Figura N°12. Perno Cabeza Cuadrada.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Cabeza Triangular

Este tornillo de cabeza triangular permite fijar dos elementos sin emplear herramientas. Muy útil cuando se necesita acceder a lugares de difícil acceso para las herramientas.

Figura N°13. Perno Cabeza Triangular.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Cabeza Bihexagonal

Se utilizan normalmente como tornillos de repuesto para tornillos de tapa de cabeza de zócalo estándar, o como pernos de fijación para uso en motores diésel.

Figura N°14. Perno Cabeza Bihexagonal.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021).

- Pernos con Cabeza de Martillo

Elementos de fijación universal. El tornillo con cabeza de martillo se introduce en la ranura de perfil y puede utilizarse así también posteriormente en sistemas existentes.

Figura N°15. Perno Cabeza de Martillo.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Cabeza Redonda.

Se usa para fijar piezas demasiado delgadas como para permitir que el perno se hunda en ellas, también para unir partes que requerirán arandelas.

Figura N°16. Perno Cabeza Redondo.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Ranura Recta.

Este tipo de tornillos sirven en caso sea necesario aplicar una fuerza de torsión media. Se emplean con un destornillador de cabeza plana.

Figura N°17. Perno Ranura Recto.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

- Pernos con Cruciforme Interior

También llamados Phillips. Contemplan el mismo uso y aplicación que el perno con ranura recto. Los utilizaremos con un destornillador de estrella.

Figura N°18. Perno Cruciforme Inferior.
Fuente: Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021)

Con la finalidad de usar los llamados pernos comunes, se eligió los pernos de cabeza hexagonal de acero en bajo contenido en carbono y sin tratamiento térmico, regidos bajo la norma ASTM A307 grado A, pernos con resistencia de 60 KPSI y límite de fluencia de 36 KPSI.

4.3. ARANDELAS

La arandela es una pieza de montaje con forma de un disco delgado con un agujero en el centro (Ver Figura N°19), por lo general son de material metálico, pero también existen de plástico. En el caso específico de arandelas para pernos,

se coloca debajo de la cabeza de la tuerca y en el otro extremo, debajo de la cabeza del perno.

Figura N°19. Arandelas.
Elaboración Propia.

La función principal es la de distribuir la fuerza de ajuste (fuerza mediante la cual se debe apretar un perno, tornillo, tuerca o cualquier elemento) a zonas diferentes de las zonas de la cabeza del perno y tuerca, a fin de evitar que la tuerca y/o cabeza del perno gire sobre el material que aprieta, evitando que el material de la madera se deforme. Tomando como referencia la recomendación de la Norma Chilena 1198 (Madera – Construcción en Madera) las arandelas a usar deben tener las medidas que se indica en la Cuadro N°17,

Cuadro N°17. Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales

Diámetro Perno (mm)	10	12	16	20	>20
Espesor de Arandela (mm)	5	5	6	6	8
Diámetro Externo (mm)	50	55	65	75	95

Elaboración Propia. Fuente: Norma Chilena 1198. Instituto Nacional de Normalización (1996)

CAPÍTULO V: UNIONES ESTRUCTURALES EN ELEMENTOS DE MADERA

Las estructuras de madera en su conjunto están conformadas por elementos unidas entre si mediante los diversos tipos de conexiones que existen. Estas conexiones deben transmitir los esfuerzos entre los elementos estructurales evitando que la deformación total de la estructura exceda los valores admisibles.

Según estudios, se tiene conocimiento que en una estructura de madera el costo del diseño y construcción de las conexiones tiene una incidencia del 20% al 25% respecto al presupuesto total de la construcción (Argüelles y Arriaga, 2003). De igual manera se tiene estimado que en un cálculo estructural completo, el diseño de las conexiones puede llegar a representar un 70% del tiempo total del cálculo (Rodd y Leijten, 2003).

Esto nos contextualiza la importancia de un adecuado diseño de conexiones en madera, no solo como puntos de transferencia de esfuerzos, sino también como incidencia dentro del presupuesto total en construcciones en madera. Los tipos de uniones que se suelen a utilizar dentro de la construcción en madera están condicionadas al tipo y valores de cargas que sobre los elementos se soliciten, es así que los tipos de uniones se clasifican en:

- Uniones encoladas o pegadas: Utilizan adhesivos para la transmisión de los esfuerzos. Unión rígida donde las fallas se producen en elementos aledaños a la unión, lo que genera una falla frágil.

Figura N°20. Uniones Pegadas.
Elaboración Propia.

- Uniones Embarbilladas: Son uniones como cuñas que sólo pueden soportar esfuerzos de compresión.

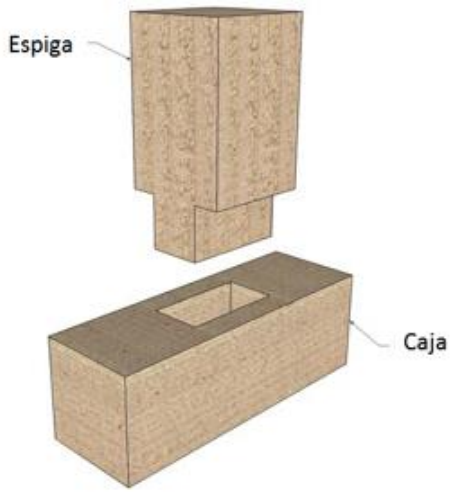


Figura N°21. Uniones Embardilladas.
Elaboración Propia.

- Uniones mecánicas: Se caracterizan por ser flexibles (admiten deformaciones en los elementos aledaños). En contraste con las conexiones adhesivas, implican un costo adicional al emplear componentes externos como clavos, tornillos, placas de acero, etc. Una de las ventajas reside en la simplicidad de montaje.

Figura N°22. Uniones Mecánicas.
Fuente: Eurocodigos Estructurales 2022.

5.1. TIPOS DE UNIONES ESTRUCTURALES

5.1.1. UNIONES CLAVADAS

Es un medio de unión muy común. Se comercializan en muchos tamaños y formas, son elementos de fijación entre piezas de madera o entre madera y placa metálica con fuste de sección circular, redondeada o cuadrada, con punta afilada y cabeza de forma plana, avellanada, etc. El fuste puede ser liso o con resaltos en forma de cuña, helicoidal, acanalado, etc. Ver Figura N°23.

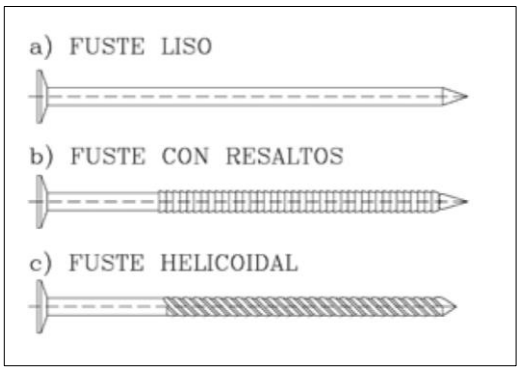


Figura N°23. Tipos de Clavos.
Fuente: Sociedad Española de Madera.

5.1.2. UNIONES CON TIRAFONES

Los tirafondos llamados tirafones o tornillos para madera, constan de un fuste con una zona roscada en la punta (rosca) y un tramo liso (vástago) (Ver Figura N°24). La forma de la cabeza puede ser lenticular, redonda, avellanada y hexagonal. Trabajan frente a cargas laterales (cortante) y al contrario que los clavos, tienen una elevada capacidad resistente a cargas de extracción.

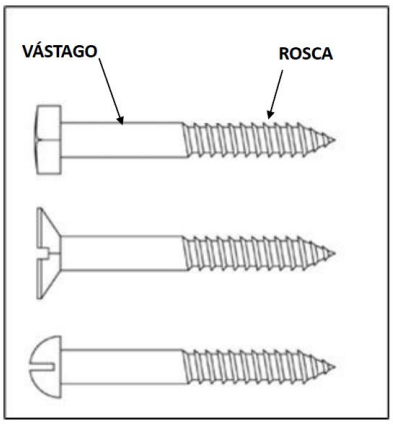


Figura N°24. Tirafondos con cabeza hexagonal, avellanada y redonda (de arriba abajo).
Fuente: Sociedad Española de Madera.

5.1.3. UNIONES EMPERNADAS

Se trata de conexiones puntuales que pueden ser separadas fácilmente. Los pernos son uno de los métodos de unión más comunes, ya que tienen una gran capacidad para transferir cargas.

Las conexiones mediante pernos deben ser ejecutadas de manera que aseguren un contacto eficaz entre las partes que se unen. En caso de que la humedad sea elevada, durante el montaje de la estructura en cuestión, se deben realizar inspecciones a intervalos no mayores de seis meses para verificar que los movimientos causados por contracciones ya no sean significativos. En cada revisión, es necesario ajustar los componentes de unión hasta lograr un contacto eficaz entre las superficies de las piezas conectadas. Además, se aconseja aplicar un tratamiento anticorrosivo a todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda.

Cuando se apliquen uniones empernadas se deberá tener en cuenta el alineamiento de los agujeros en la madera, en las conexiones deberán darse el uso de arandelas entre las cabezas del perno y la madera, de esta manera se evita los esfuerzos por aplastamientos excesivos. Ver Figura N°25.

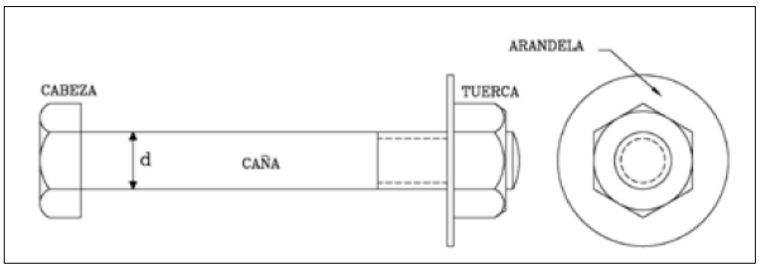


Figura N°25. Conexión empernada con uso de arandela.
Fuente: Sociedad Española de Madera.

5.2. SOLICITACIONES EN LAS UNIONES

Las uniones tanto clavadas como empernadas, son afectadas por varios tipos de cizallamiento. El cizallamiento es un fenómeno producido por fuerzas opuestas, iguales que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre la otra,

las cuales pueden ser simpe, doble o múltiple cizallamiento (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

5.2.1. CIZALLE O CORTE SIMPLE

El cizallamiento simple se produce por la unión de dos piezas de madera y o varios elementos de fijación que atraviesan las piezas. La fijación atraviesa un solo plano de falla. Ver Figura N°26

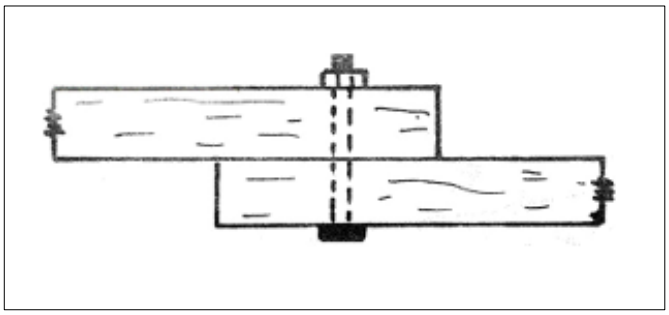


Figura N°26. Cizalle Simple.
Fuente: Valenzuela (1979).

5.2.2. DOBLE CIZALLAMIENTO

El cizallamiento doble determina la capacidad admisible de las uniones. Este tipo de cizallamiento se produce dos planos de falla, por lo que se recomienda que, cuando se realice el diseño de uniones que involucren este fenómeno, el espesor del elemento central debe ser por lo menos el doble de los elementos externos. Esta recomendación se debe a que el elemento central debe soportar dos planos de falla y el doble de carga. Ver Figura N°27.

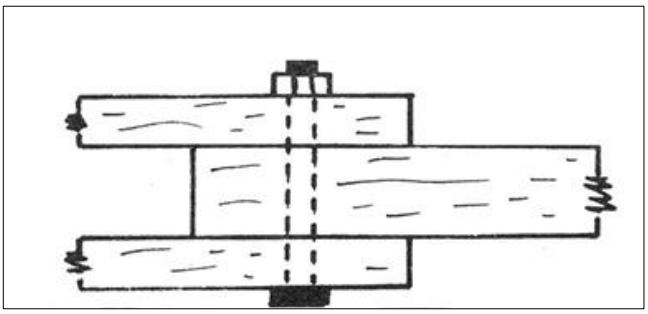


Figura N°27. Cizalle Doble.
Fuente: Valenzuela (1979).

5.2.3. CIZALLAMIENTO MÚLTIPLE

Una cizalla múltiple se caracteriza por la presencia de dos o más superficies de ruptura. En este tipo de cizallamiento, es esencial tener en cuenta la posibilidad de que el elemento de sujeción se pandee. Si el elemento de sujeción es demasiado largo, puede doblarse bajo cargas relativamente pequeñas. Generalmente se considera que el esfuerzo admisible para este tipo de uniones es igual al número de planos de corte multiplicado por el esfuerzo admisible de uniones a cizalla simple. Ver Figura N°28.

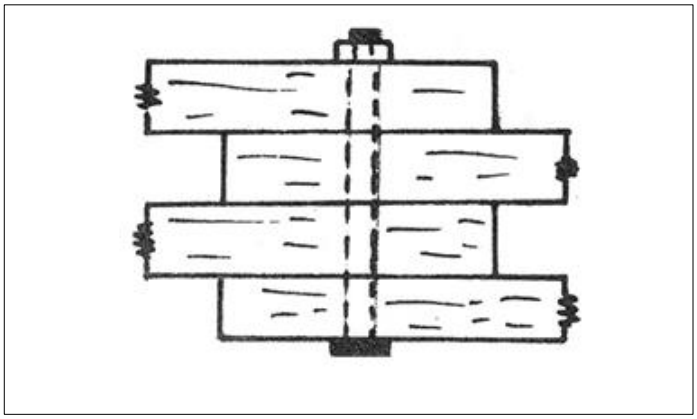


Figura N°28. Cizalle Multiple.
Fuente: Valenzuela (1979).

CAPÍTULO VI: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6.1. ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos se realizaron bajo los procedimientos estipulados en las normas ASTM D3410, de igual manera se tomó como referencia las recomendaciones estipuladas en el Manual de Diseño del Grupo Andino (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Es preciso especificar que el manual recomienda que, para cada grupo de muestras a ensayar, se realice una cantidad de 20 ensayos como mínimo, del cual se obtendrá el 5to percentil del valor del límite proporcional. Para efectos de obtener un resultado de mayor fiabilidad se contempló la cantidad de 30 ensayos por cada grupo de muestras.

6.1.1. EQUIPO Y NORMATIVA DE ENSAYO

El Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM) de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuenta con una máquina de ensayo de materiales cuya marca es Zwick Roell de fabricación alemana, cuya fuerza máxima de aplicación según ficha técnica es de 1000 KN.

Fotografía N° 1. Maquina Zwick Roell de 1000 KN

Los ensayos se realizaron bajo los procedimientos de las normas ASTM D3410, tomándose también como referencia el Manual de Diseño del Grupo Andino.

Para los ensayos a doble cizallamiento se tuvo en consideración 2 variables que inciden en la resistencia de las conexiones, cantidad del perno y relación de L/D (L: espesor de madera y D: Diámetro de perno). El valor de la relación L/D será utilizada para obtener el valor de velocidad de ensayo aplicado a las probetas asignadas. Tomando como referencia la norma ASTM D1761 y la norma ITINTEC N 251.010, el Cuadro N°18 presenta la velocidad de ensayo aplicable para cada relación L/D.

Cuadro N°18. Longitudes de Muestras a Ensayar.

L/D	Velocidad (mm/minuto)
2	10.92
4	15.404
8	22.098

Elaboración Propia. Fuente: ASTM D1761

En el Cuadro N°19 se muestra los valores de la relación de L/D con su respectiva velocidad de ensayo para todos los casos de las probetas a modular. Como se muestra en el cuadro, se tienen 4 valores de velocidad de ensayo correspondiente para cada combinación, también se observan los espesores de la pieza central, las piezas laterales y el diámetro del perno para cada ensayo.

Cuadro N°19. Velocidad de Ensayos.

Muestras	Diámetro del perno	Longitud del perno	Espesor pieza principal	Espesor pieza lateral	Relación L/D	Velocidad ensayo
Cantidad	pulg	pulg	cm	cm	-	mm/min
30	1/4	2 1/2	2.0	1.0	3.14	13.477
30	3/8	2 1/2	2.0	1.0	2.09	11.123
30	1/4	4	4.0	2.0	6.29	19.236
30	3/8	4	4.0	2.0	4.19	15.722

Elaboración Propia.

6.1.2. MONTAJE DE PROBETAS

Las probetas fueron moduladas siguiendo las sugerencias del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. De esta manera se elaboraron las 120 muestras bajo las siguientes combinaciones:

1. La primera combinación (30 muestras): unión de dos pernos 1/4” y un espesor central a ensayar de 2cm.

2. La segunda combinación (30 muestras): unión de dos pernos 3/8” y un espesor central a ensayar de 2cm.

3. La tercera combinación (30 muestras): unión con tres pernos 1/4” y un espesor central a ensayar de 4cm.

4. La cuarta combinación (30 muestras): unión con tres pernos 3/8” y un espesor central a ensayar de 4cm.

Cada pieza central de 2cm se empernó a dos piezas laterales de 1cm de espesor. De igual manera, cada pieza central de 4cm se empernó a dos piezas laterales de 2cm de espesor.

Las piezas de madera fueron cortadas en medidas exactas de 10cm de ancho y 30cm de largo correspondientes para cada espesor de 1cm, 2cm y 4cm, obteniéndose unas 120 piezas de 1cm, 180 piezas de 2cm y 60 piezas de 4cm de espesor respectivamente.

Las muestras fueron moduladas y ensambladas en 4 grupos de 30 probetas cada uno, según el Cuadro N°19. Posteriormente fueron transportadas y almacenadas en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).

Fotografía N° 2. Compra de madera Pashaco.

Fotografía N° 3. Metrado de Madera Pashaco.

Fotografía N° 4. Modulación de piezas de madera Pashaco.

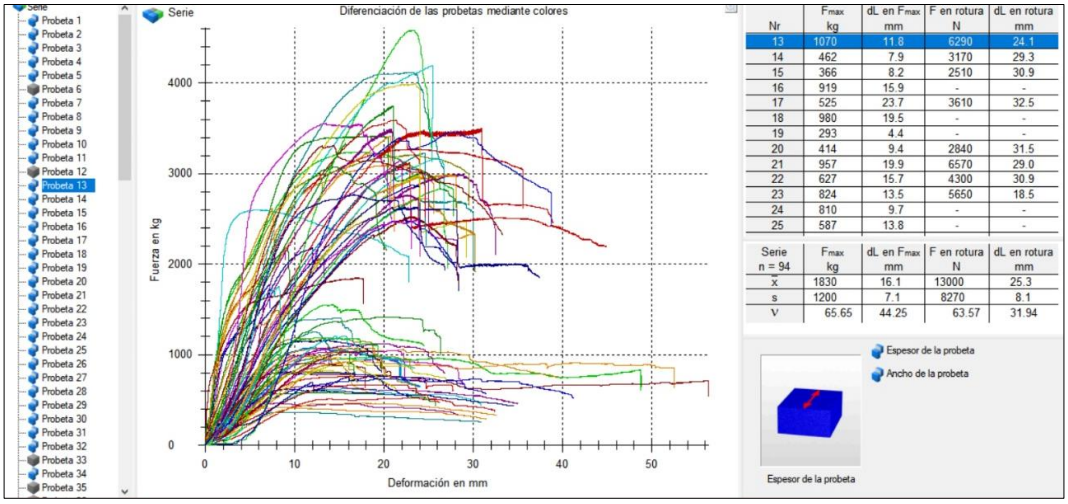
Fotografía N° 5. Transporte de piezas a ensayar.

Fotografía N° 6. Almacenamiento en laboratorio de muestras.

Fotografía N° 7. Ensayo de muestras a doble cizallamiento.

6.1.3. ANÁLISIS Y GRÁFICAS DE ENSAYOS

En la Figura N°29, se observa los valores hallados para los distintos tipos de ensayos, en Figura N°30 se muestran las gráficas que corresponden a la variación de la carga versus la deformación de las muestras. De las gráficas emitidas se analizaron el valor de la carga última y la carga límite proporcional.



Nr	Fmax kg	dL en Fmax mm	F en rotura N	dL en rotura mm
13	1070	11.8	6290	24.1
14	462	7.9	3170	29.3
15	366	8.2	2510	30.9
16	919	15.9	-	-
17	525	23.7	3610	32.5
18	980	19.5	-	-
19	293	4.4	-	-
20	414	9.4	2840	31.5
21	957	19.9	6570	29.0
22	627	15.7	4300	30.9
23	824	13.5	5650	18.5
24	810	9.7	-	-
25	587	13.8	-	-

Serie n = 94	Fmax kg	dL en Fmax mm	F en rotura N	dL en rotura mm
x̄	1830	16.1	13000	25.3
s	1200	7.1	8270	8.1
V	65.65	44.25	63.57	31.94

Figura N°29. Resultados de ensayos en el software TestXpert del Zwick Roell.

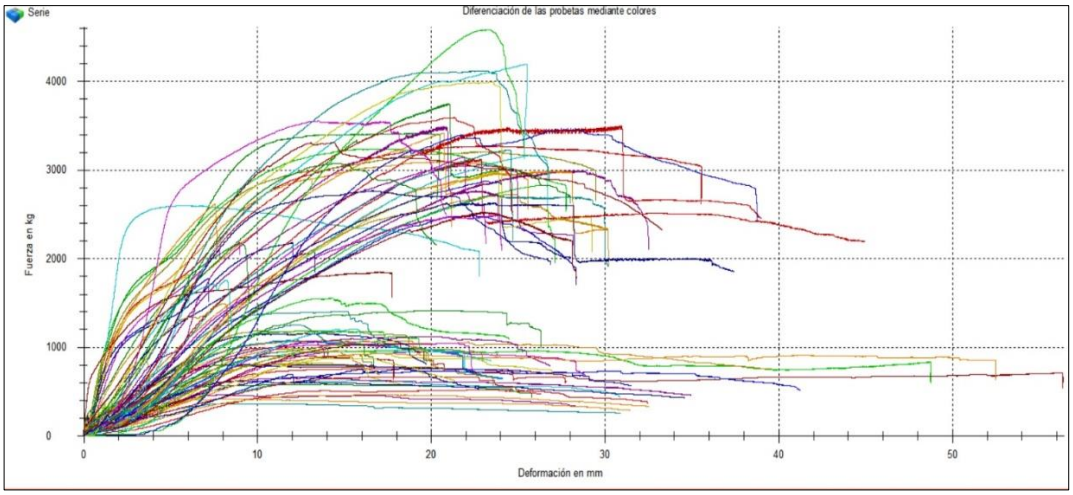


Figura N°30. Graficas de Fuerza (kg) vs Deformación (mm).

La carga limite proporcional es el valor por debajo de la cual la deformación es proporcional o lineal a la carga aplicada. Si el material es sometido hasta ese

esfuerzo, al suprimir el mismo, el comportamiento es elástico, es decir el material retoma a su forma original sin sufrir deformaciones permanentes.

6.2. CÁLCULOS DE DENSIDAD Y HUMEDAD

6.2.1. ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

El ensayo de densidad básica fue realizado siguiendo los lineamientos estipulados en la norma NTP 251.011, la cual indica que la densidad básica es la relación entre el peso de la probeta seca al horno y el volumen de la probeta en condición saturada:

$$DB = \frac{Ws}{Wsat}$$

Donde:

Ws: Peso seco al horno de la probeta (g)

Wsat: Volumen en estado saturado (cm^3)

6.2.1.1. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA DENSIDAD BÁSICA

Para realizar los cálculos de densidad básica, se cortaron muestras de madera de cada una de las 120 probetas, todas codificadas según el espesor de la muestra, el número de pernos y el orden del ensayo realizado. Luego, las muestras se sumergieron en agua durante 6 días. Posteriormente, se introdujeron las muestras, una por una, en una pipeta graduada, asegurándose de que toda la pieza quedara completamente sumergida, y se tomó la lectura del volumen desplazado. Finalmente, las muestras se secaron en un horno durante 48 horas y se pesaron. Ver resultados en Cuadro N°20, Cuadro N°21, Cuadro N°22 y Cuadro N°23.

Fotografía N° 8. Muestras saturadas.

Fotografía N° 9. Muestra sumergida en pipeta graduada.

Fotografía N° 10. Muestras colocadas al horno a 1103° C ± 2° C

Cuadro N°20. Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4".

Muestra	L1 (cm^3)	L2 (cm^3)	Volumen Saturado (cm3)	Peso Saturado (g)	Peso Seco (g)	DB (g/cm3)
Muestra 1	500	561	61	48.7	29	0.48
Muestra 2	500	555	55	40.6	22.7	0.41
Muestra 3	500	560	60	32.5	17.6	0.29
Muestra 4	500	559	59	45.8	21.1	0.36
Muestra 5	500	565	65	55.9	22.6	0.35
Muestra 6	500	565	65	51.7	27.6	0.42
Muestra 7	500	570	70	61.1	27.4	0.39
Muestra 8	500	565	65	50.6	27.8	0.43
Muestra 9	500	561	61	36	21.1	0.35
Muestra 10	500	568	68	63.3	26.5	0.39
Muestra 11	500	570	70	65.4	24.5	0.35
Muestra 12	500	529	29	17.7	8	0.28
Muestra 13	500	562	62	41.8	19	0.31
Muestra 14	500	568	68	68.1	24.9	0.37
Muestra 15	500	570	70	41	22.1	0.32
Muestra 16	500	580	80	50.8	32.8	0.41
Muestra 17	500	562	62	59.4	22.5	0.36
Muestra 18	500	570	70	51.8	28	0.40
Muestra 19	500	562	62	40	21.5	0.35
Muestra 20	500	562	62	35.5	17	0.27
Muestra 21	500	560	60	59	20.6	0.34
Muestra 22	500	560	60	35.5	17.7	0.30
Muestra 23	500	570	70	69.5	25.2	0.36
Muestra 24	500	575	75	57.9	25.4	0.34
Muestra 25	500	568	68	68.4	22.4	0.33
Muestra 26	500	570	70	49	25	0.36
Muestra 27	500	568	68	40.8	20.2	0.30
Muestra 28	500	570	70	70	24.8	0.35
Muestra 29	500	568	68	42.4	24.5	0.36
Muestra 30	500	566	66	48.1	21.8	0.33
				Densidad Básica Promedio		0.35

Cuadro N°21. Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8".

Muestra	L1 (cm3)	L2 (cm3)	Volumen Saturado (cm3)	Peso Saturado (g)	Peso Seco (g)	DB (g/cm3)
Muestra 1	500	563	63	48.8	30.6	0.49
Muestra 2	500	565	65	37.5	20.7	0.32
Muestra 3	500	562	62	36.6	25.2	0.41
Muestra 4	500	560	60	55.9	24.4	0.41
Muestra 5	500	558	58	40.2	18.7	0.32
Muestra 6	500	562	62	36.3	22.9	0.37
Muestra 7	500	552	52	51.5	23.3	0.45
Muestra 8	500	565	65	40.9	26.7	0.41
Muestra 9	500	562	62	61.6	27.3	0.44
Muestra 10	500	560	60	37.5	24.7	0.41
Muestra 11	500	564	64	38.2	19.2	0.30
Muestra 12	500	568	68	36.9	25.7	0.38
Muestra 13	500	570	70	41.7	23.4	0.33
Muestra 14	500	558	58	56.1	18.9	0.33
Muestra 15	500	570	70	45.1	29.3	0.42
Muestra 16	500	562	62	55.7	25.3	0.41
Muestra 17	500	560	60	39.5	21	0.35
Muestra 18	500	564	64	38.9	21	0.33
Muestra 19	500	565	65	55.4	26.8	0.41
Muestra 20	500	565	65	37.9	21.3	0.33
Muestra 21	500	566	66	42.7	27.9	0.42
Muestra 22	500	564	64	42.2	25.4	0.40
Muestra 23	500	566	66	66.6	20.8	0.32
Muestra 24	500	560	60	60.8	19.8	0.33
Muestra 25	500	568	68	72.4	26.5	0.39
Muestra 26	500	570	70	66.3	33.4	0.48
Muestra 27	500	570	70	69.6	22.5	0.32
Muestra 28	500	574	74	39.4	20	0.27
Muestra 29	500	555	55	36.6	18.4	0.33
Muestra 30	500	562	62	55.7	28.2	0.45
				Densidad Básica Promedio		0.38

Cuadro N°22. Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4".

Muestra	L1 (cm3)	L2 (cm3)	Volumen Saturado (cm3)	Peso Saturado (g)	Peso Seco (g)	DB (g/cm3)
Muestra 1	500	626	126	124.3	48.6	0.39
Muestra 2	500	628	128	121.1	54	0.42
Muestra 3	500	635	135	99.9	57	0.42
Muestra 4	500	628	128	89.2	44.4	0.35
Muestra 5	500	612	112	100.5	51.3	0.46
Muestra 6	500	628	128	120	56.7	0.44
Muestra 7	500	645	145	132.2	54.2	0.37
Muestra 8	500	630	130	105.3	50.9	0.39
Muestra 9	500	645	145	132.5	57.1	0.39
Muestra 10	500	630	130	89.1	50.3	0.39
Muestra 11	500	618	118	129.9	61.6	0.52
Muestra 12	500	630	130	129.3	54.6	0.42
Muestra 13	500	628	128	95	44.2	0.35
Muestra 14	500	632	132	116.3	52.5	0.40
Muestra 15	500	626	126	111.9	54.1	0.43
Muestra 16	500	635	135	93.9	53	0.39
Muestra 17	500	640	140	120.6	66.8	0.48
Muestra 18	500	622	122	96.1	50.9	0.42
Muestra 19	500	632	132	124.7	49.3	0.37
Muestra 20	500	640	140	120.9	58.2	0.42
Muestra 21	500	635	135	135.6	56.5	0.42
Muestra 22	500	625	125	118.5	44	0.35
Muestra 23	500	622	122	84	42	0.34
Muestra 24	500	625	125	120.4	44.9	0.36
Muestra 25	500	625	125	127.5	46.9	0.38
Muestra 26	500	624	124	129.6	53.1	0.43
Muestra 27	500	618	118	112.2	43.1	0.37
Muestra 28	500	622	122	98.2	48.8	0.40
Muestra 29	500	625	125	127	51	0.41
Muestra 30	500	624	124	100.6	47.6	0.38
				Densidad Básica Promedio		0.40

Cuadro N°23. Resultados obtenidos de densidad básica a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8".

Muestra	L1 (cm3)	L2 (cm3)	Volumen Saturado (cm3)	Peso Saturado (g)	Peso Seco (g)	DB (g/cm3)
Muestra 1	500	630	130	125.6	50.6	0.39
Muestra 2	500	592	92	88.6	36.6	0.40
Muestra 3	500	632	132	129	54.6	0.41
Muestra 4	500	628	128	116.9	47.7	0.37
Muestra 5	500	626	126	91.6	49.2	0.39
Muestra 6	500	654	154	123	61.2	0.40
Muestra 7	500	615	115	72.5	40.7	0.35
Muestra 8	500	620	120	104.9	50.3	0.42
Muestra 9	500	626	126	91	52	0.41
Muestra 10	500	595	95	50.4	29.1	0.31
Muestra 11	500	644	144	85.8	49.6	0.34
Muestra 12	500	660	160	98.7	66.6	0.42
Muestra 13	500	625	125	101	59.4	0.48
Muestra 14	500	625	125	93.8	54.1	0.43
Muestra 15	500	645	145	139.4	51.5	0.36
Muestra 16	500	620	120	119.9	55.4	0.46
Muestra 17	500	640	140	83.3	55.3	0.40
Muestra 18	500	650	150	98.5	55.7	0.37
Muestra 19	500	634	134	130.5	58.5	0.44
Muestra 20	500	610	110	115.5	47.1	0.43
Muestra 21	500	660	160	148.7	55.3	0.35
Muestra 22	500	630	130	119.5	55.2	0.42
Muestra 23	500	625	125	84.9	43.6	0.35
Muestra 24	500	645	145	138.2	61.8	0.43
Muestra 25	500	645	145	148.7	55.3	0.38
Muestra 26	500	655	155	175.6	63.3	0.41
Muestra 27	500	640	140	139.4	48.8	0.35
Muestra 28	500	650	150	150.4	58.4	0.39
Muestra 29	500	625	125	116.7	53.6	0.43
Muestra 30	500	630	130	123.9	47.6	0.37
				Densidad Básica Promedio		0.39

6.2.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad según la norma, es el porcentaje que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhídrida o seca:

$$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws} x100\%$$

Donde:

CH (%): Contenido de humedad, en porcentaje.

Wh: Peso humedad de la muestra. (g)

Ws: Peso de la muestra anhidra o seca al horno (g)

6.2.2.1. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para realizar los cálculos de humedad de las probetas, se cortaron muestras de madera de cada una de las 120 probetas, identificadas con códigos según el espesor de la pieza y el número de pernos. Una vez obtenidas las 120 muestras, se pesaron en su estado húmedo siguiendo el orden de ensayo y corte. Luego, las muestras se introdujeron en un horno durante 24 horas para obtener las muestras anhidras. Al volver a pesarlas, se determinó el contenido de humedad de cada muestra. Ver resultados en Cuadro N°31, Cuadro N°32, Cuadro N°33, Cuadro N°34.

Fotografía N° 11. Corte de muestras para ensayo de contenido de humedad.

Fotografía N° 12. Muestras moduladas para ensayo de contenido de humedad.

Fotografía N° 13. Pesaje de muestras en estado húmedo.

Fotografía N° 14. Muestras colocadas al horno a 1103° C ± 2° C

Fotografía N° 15. Pesaje de muestras en estado seco.

Cuadro N°24. Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	53.90	45.10	19.51
Muestra 2	47.70	39.90	19.55
Muestra 3	30.70	25.80	18.99
Muestra 4	37.30	31.40	18.79
Muestra 5	40.40	34.00	18.82
Muestra 6	50.70	42.60	19.01
Muestra 7	52.80	44.10	19.73
Muestra 8	52.80	44.30	19.19
Muestra 9	38.80	32.40	19.75
Muestra 10	49.80	41.80	19.14
Muestra 11	47.40	39.70	19.40
Muestra 12	38.00	31.90	19.12
Muestra 13	41.60	34.90	19.20
Muestra 14	48.50	40.70	19.16
Muestra 15	38.10	32.00	19.06
Muestra 16	39.10	32.80	19.21
Muestra 17	47.90	40.40	18.56
Muestra 18	48.20	40.40	19.31
Muestra 19	45.70	38.40	19.01
Muestra 20	31.90	26.80	19.03
Muestra 21	43.30	36.50	18.63
Muestra 22	32.60	27.20	19.85
Muestra 23	46.40	39.20	18.37
Muestra 24	39.30	33.30	18.02
Muestra 25	42.20	35.70	18.21
Muestra 26	43.10	36.30	18.73
Muestra 27	34.80	29.10	19.59
Muestra 28	45.90	38.50	19.22
Muestra 29	35.20	29.60	18.92
Muestra 30	37.30	31.50	18.41

Cuadro N°25. Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	48.00	39.90	20.30
Muestra 2	40.30	33.70	19.58
Muestra 3	41.60	34.80	19.54
Muestra 4	50.00	41.80	19.62
Muestra 5	39.40	33.20	18.67
Muestra 6	47.30	39.60	19.44
Muestra 7	54.70	45.90	19.17
Muestra 8	50.20	42.10	19.24
Muestra 9	48.40	40.50	19.51
Muestra 10	49.40	41.10	20.19
Muestra 11	39.90	33.40	19.46
Muestra 12	46.60	39.00	19.49
Muestra 13	44.60	37.40	19.25
Muestra 14	42.90	36.00	19.17
Muestra 15	57.90	48.90	18.40
Muestra 16	54.40	45.40	19.82
Muestra 17	43.10	36.20	19.06
Muestra 18	36.30	30.40	19.41
Muestra 19	56.30	47.20	19.28
Muestra 20	43.50	36.30	19.83
Muestra 21	54.80	45.80	19.65
Muestra 22	66.70	56.50	18.05
Muestra 23	42.60	35.80	18.99
Muestra 24	35.50	29.80	19.13
Muestra 25	42.60	35.80	18.99
Muestra 26	61.50	51.60	19.19
Muestra 27	43.10	36.30	18.73
Muestra 28	32.10	26.80	19.78
Muestra 29	36.50	30.50	19.67
Muestra 30	51.80	43.50	19.08

Cuadro N°26. Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	47.60	39.80	19.60
Muestra 2	45.10	37.70	19.63
Muestra 3	46.90	39.40	19.04
Muestra 4	44.20	36.70	20.44
Muestra 5	45.00	37.80	19.05
Muestra 6	48.90	40.90	19.56
Muestra 7	46.70	39.00	19.74
Muestra 8	48.80	40.40	20.79
Muestra 9	49.00	41.10	19.22
Muestra 10	46.50	38.70	20.16
Muestra 11	47.90	40.10	19.45
Muestra 12	50.70	42.20	20.14
Muestra 13	38.40	32.00	20.00
Muestra 14	46.70	39.10	19.44
Muestra 15	51.30	42.50	20.71
Muestra 16	41.80	34.70	20.46
Muestra 17	54.30	45.50	19.34
Muestra 18	50.00	42.10	18.76
Muestra 19	44.80	37.60	19.15
Muestra 20	96.80	81.20	19.21
Muestra 21	76.90	64.40	19.41
Muestra 22	61.30	51.60	18.80
Muestra 23	75.70	62.30	21.51
Muestra 24	79.40	66.90	18.68
Muestra 25	92.10	76.80	19.92
Muestra 26	71.40	60.60	17.82
Muestra 27	34.30	28.90	18.69
Muestra 28	37.50	32.30	16.10
Muestra 29	32.20	27.30	17.95
Muestra 30	35.30	30.30	16.50

Cuadro N°27. Resultados obtenidos de contenido de humedad a probetas ensayadas de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	52.20	43.90	18.91
Muestra 2	53.00	44.50	19.10
Muestra 3	44.10	37.20	18.55
Muestra 4	45.60	38.20	19.37
Muestra 5	45.60	38.20	19.37
Muestra 6	49.90	41.90	20.15
Muestra 7	45.20	37.80	19.58
Muestra 8	49.40	41.30	19.61
Muestra 9	50.20	42.10	19.24
Muestra 10	43.40	36.20	19.89
Muestra 11	43.90	36.80	19.29
Muestra 12	49.80	41.40	20.29
Muestra 13	51.00	42.70	19.44
Muestra 16	54.90	45.80	19.87
Muestra 17	44.40	37.20	19.35
Muestra 18	61.40	51.20	19.92
Muestra 19	47.30	39.30	20.36
Muestra 20	48.50	40.20	20.65
Muestra 21	49.10	41.20	19.17
Muestra 22	48.30	40.40	19.55
Muestra 23	44.50	36.50	21.92
Muestra 24	52.70	43.90	20.05
Muestra 25	60.80	47.20	28.81
Muestra 26	54.70	42.80	27.80
Muestra 27	38.10	30.60	24.51
Muestra 28	42.40	33.80	25.44
Muestra 29	44.40	37.00	20.00
Muestra 30	52.80	44.50	18.65
Muestra 31	48.60	40.20	20.90
Muestra 32	56.20	45.70	22.98

CAPÍTULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

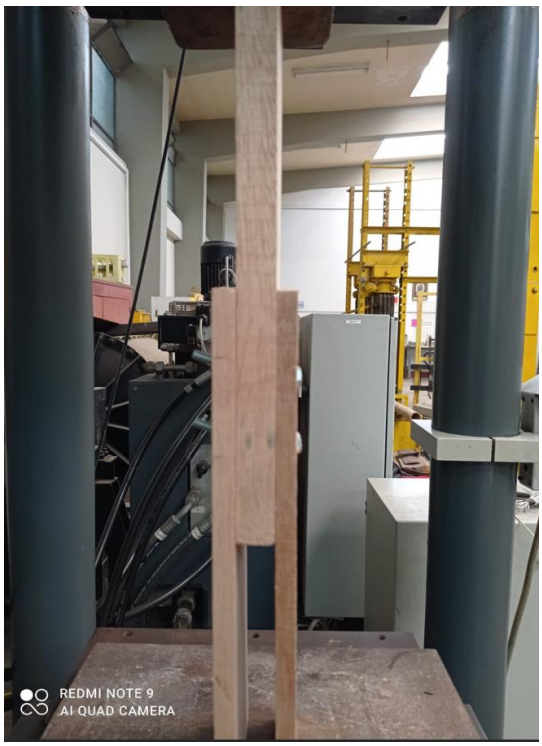
7.1. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL DOBLE CIZALLAMIENTO

Se realizaron 30 ensayos por cada tipo de conexión a estudiar, debido a la cantidad de ensayos, agrupar los resultados en una sola gráfica no sería legible ni permitiría apreciar las curvas de deformaciones, por lo que se agrupó cada 6 ensayos por gráfica, para una mejor observación.

Fotografía N° 16. Codificación de muestras previo al ensayo.

Fotografía N° 17. Ensayo a doble cizallamiento, vista isométrica.

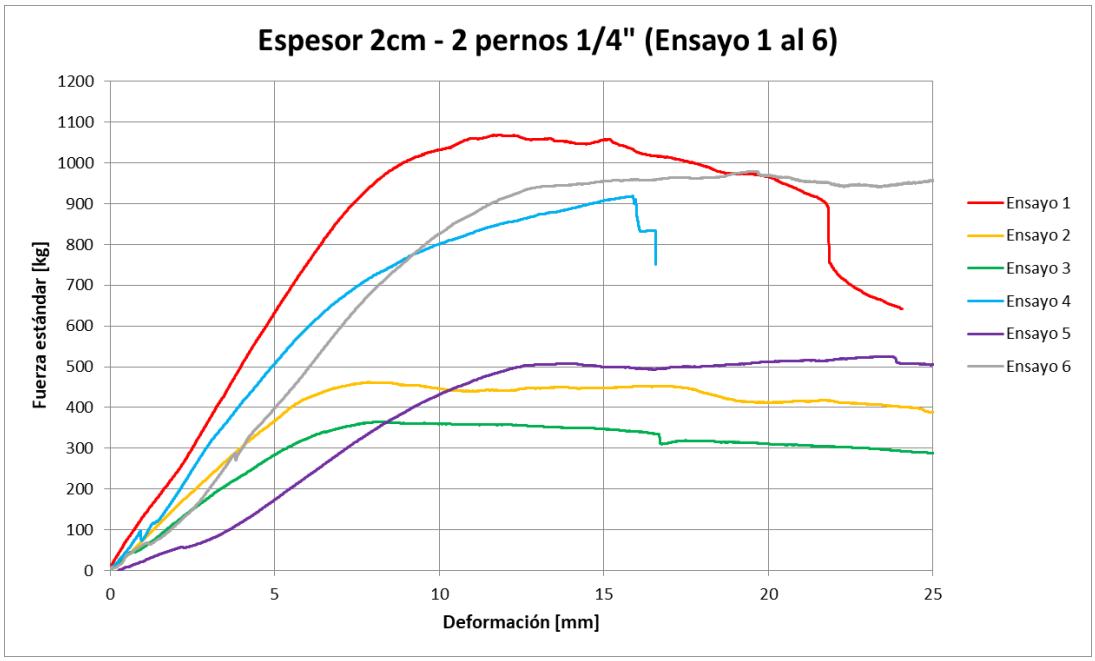
Fotografía N° 18. Ensayo a doble cizallamiento, vista frontal



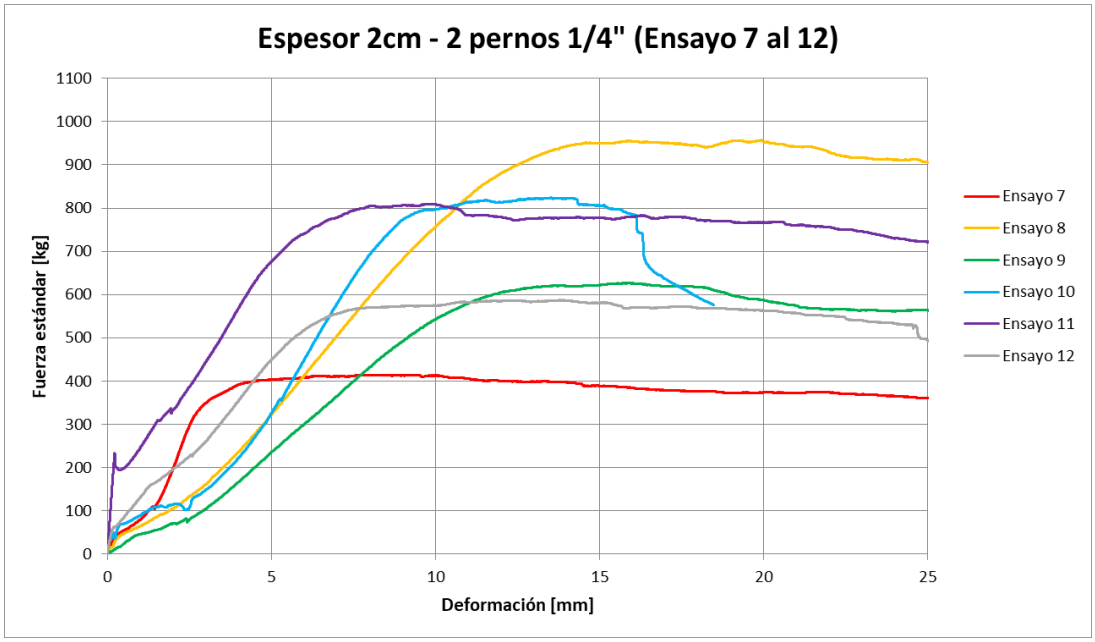
Fotografía N° 19. Ensayo a doble cizallamiento, vista lateral.

Fotografía N° 20. Falla en conexión empernada post ensayo.

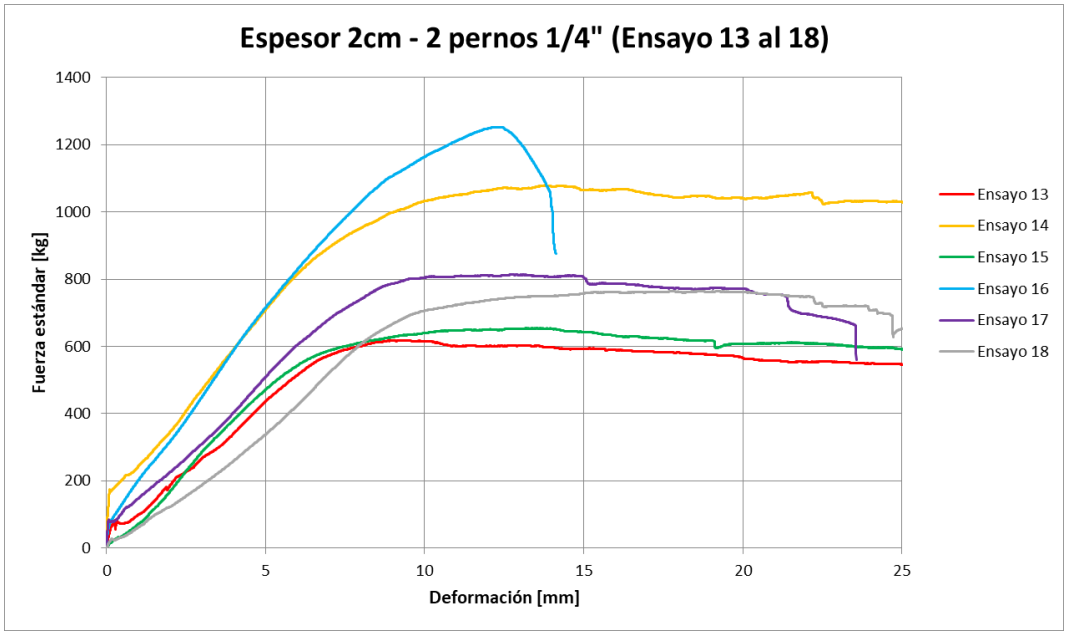
7.1.1. ESPESOR CENTRAL 2 CM Y 2 PERNOS DE 1/4"



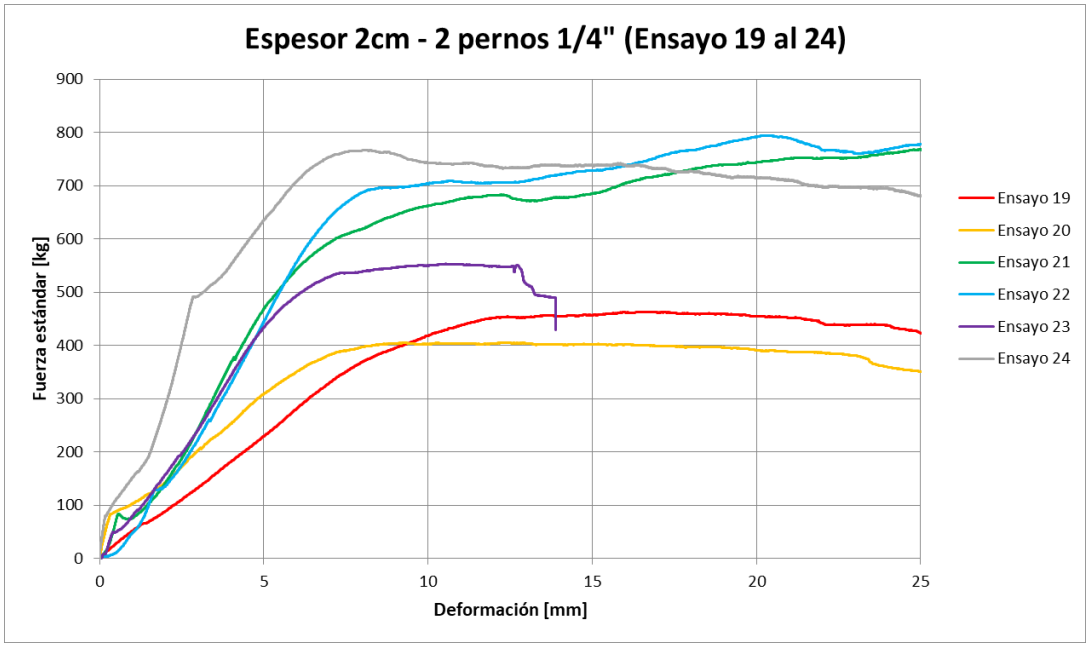
Gráfica N° 18. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 1 al 6).



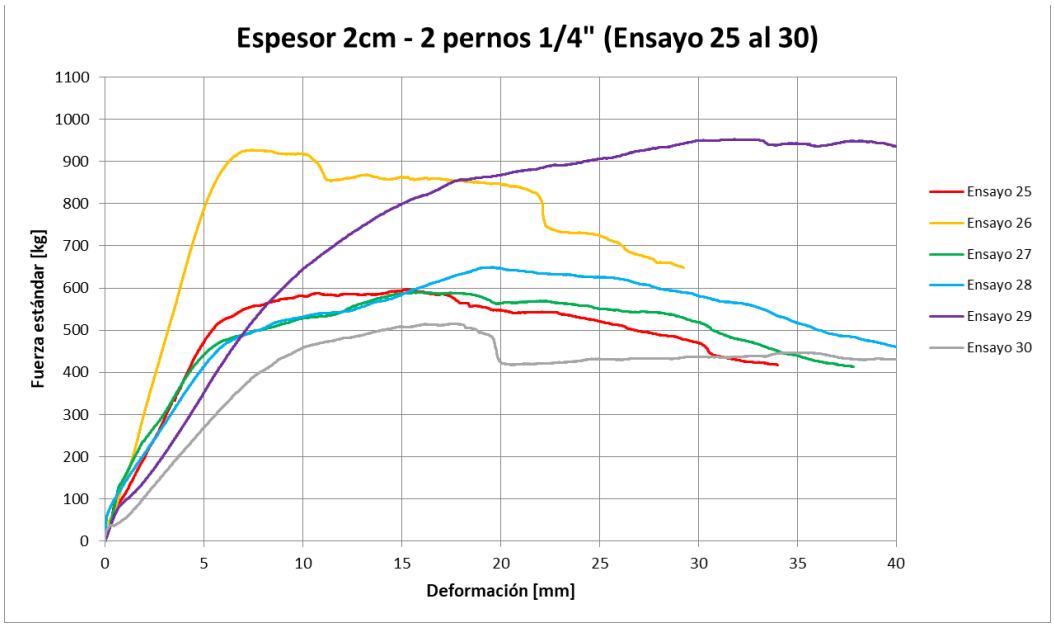
Gráfica N° 19. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 7 al 12).



Gráfica N° 20. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 13 al 18).



Gráfica N° 21. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 19 al 24).

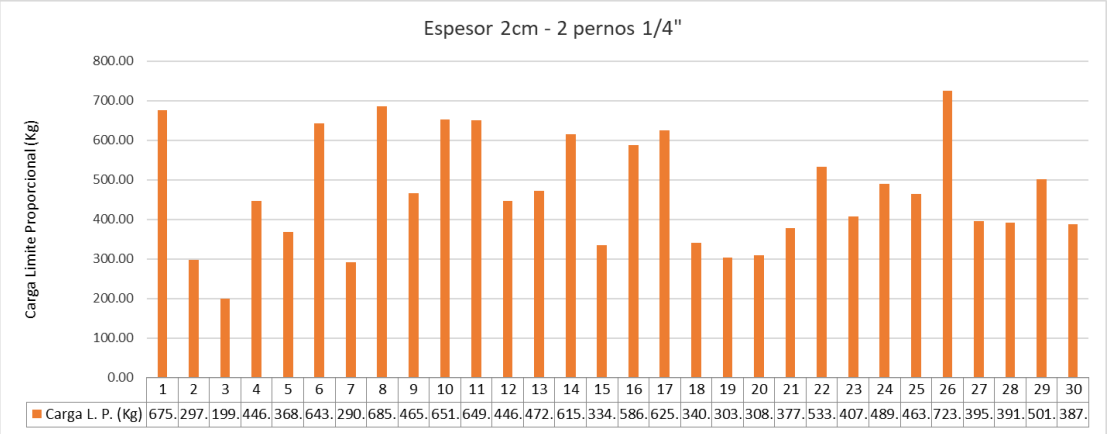


Gráfica N° 22. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4" (Ensayo 25 al 30).

Se obtuvieron valores de carga al límite proporcional a partir de las gráficas Cargas – Deformación de los ensayos de doble cizallamiento, realizados anteriormente.

Cuadro N°28 Cargas en probetas de espesor 2cm y 2 pernos 1/4"

Ensayo	Carga Limite Proporcional (kg)	Carga Última (kg)
1	675.94	1068.76
2	297.34	461.69
3	199.04	365.51
4	446.30	918.80
5	368.19	525.43
6	643.00	979.71
7	290.62	414.32
8	685.03	957.35
9	465.01	626.75
10	651.75	823.77
11	649.56	809.83
12	446.75	587.17
13	472.49	617.98
14	615.87	1079.52
15	334.86	653.83
16	586.89	813.83
17	625.36	764.56
18	340.36	731.64
19	303.52	463.22
20	308.21	405.63
21	377.40	772.17
22	533.28	794.37
23	407.03	553.40
24	489.96	767.02
25	463.19	596.84
26	723.86	926.79
27	395.49	589.68
28	391.97	649.10
29	501.60	952.43
30	387.38	515.89
PROMEDIO	**469.24**	**21187.01**
PERCENTIL (5%)	**290.62**	**405.63**



Gráfica N° 23. Resumen de ensayos a muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 1/4".

El esfuerzo básico es hallado según lo mencionado en la norma E 010, la cual indica que el esfuerzo básico corresponde al mínimo a un límite de exclusión del 5% de Carga de Limite Proporcional, esto significa que estadísticamente se tomará el menor valor que esté por encima del 5% de la cantidad total de ensayos realizados. El 5% de 30 ensayos es 1.50, el menor valor por encima de 1.5 es 2. Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor de la carga limite proporcional del Cuadro N°28, que es 290.62 kg.

Carga básica = 290.62 kg

Para hallar la carga admisible se emplean los coeficientes de reducción.

$$Carga\ admisible = \frac{F.C.xF.T}{F.S.xF.D.S.} xCarga\ Basica$$

Cuadro N°29 Coeficientes considerados para la determinación de cargas admisibles.

	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	CORTE PARALELO	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
F.C	0,80	*	*	*
F.T	0,90	*	*	*
F.S	2,00	1,60	4,00**	1,60
F.D.C	1,15	1,25	*	*

(*) Incluido en F.S.
(**) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2,00 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la piezas.

Como se generan esfuerzos de aplastamiento paralelo, debido a la presión del perno, la ecuación resulta de la siguiente manera:

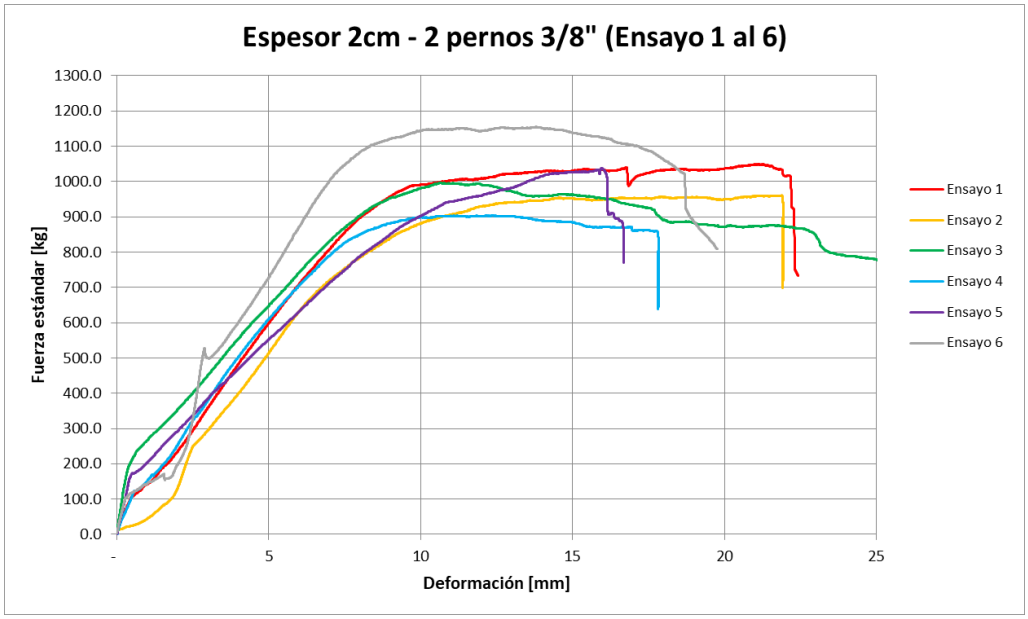
$$\textbf{Carga admisible} = \frac{\boldsymbol{Carga\ Basica}}{\mathbf{1.60x1.25}}$$

Por lo tanto, la carga admisible será:

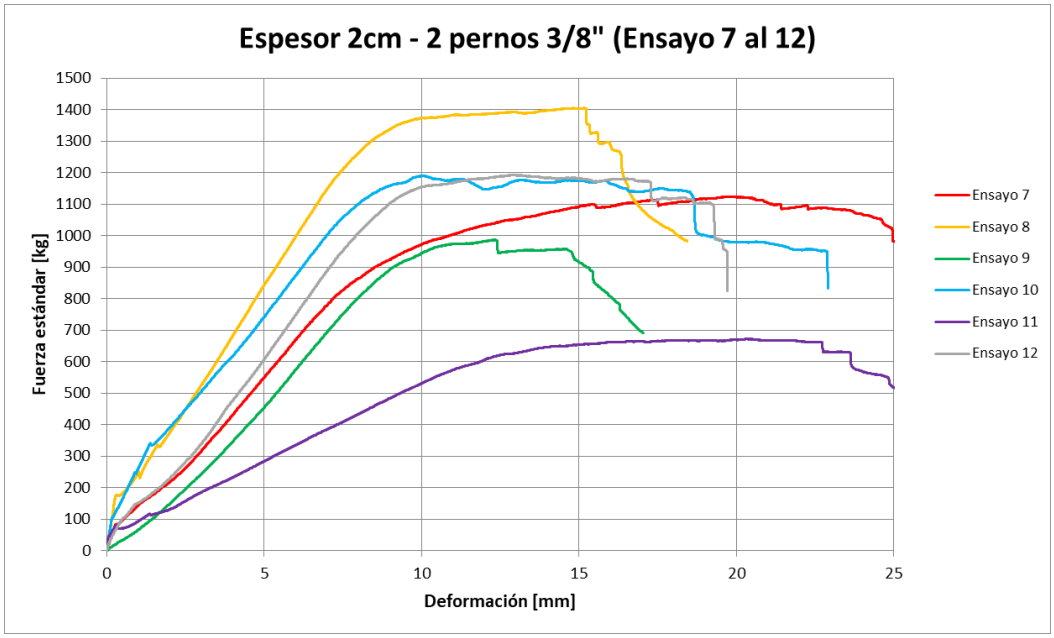
$$\text{Carga admisible} = \frac{Carga\ Basica}{2.00} = \frac{290.62}{2.00} = 145.31$$

Carga admisible = 145.31 kg

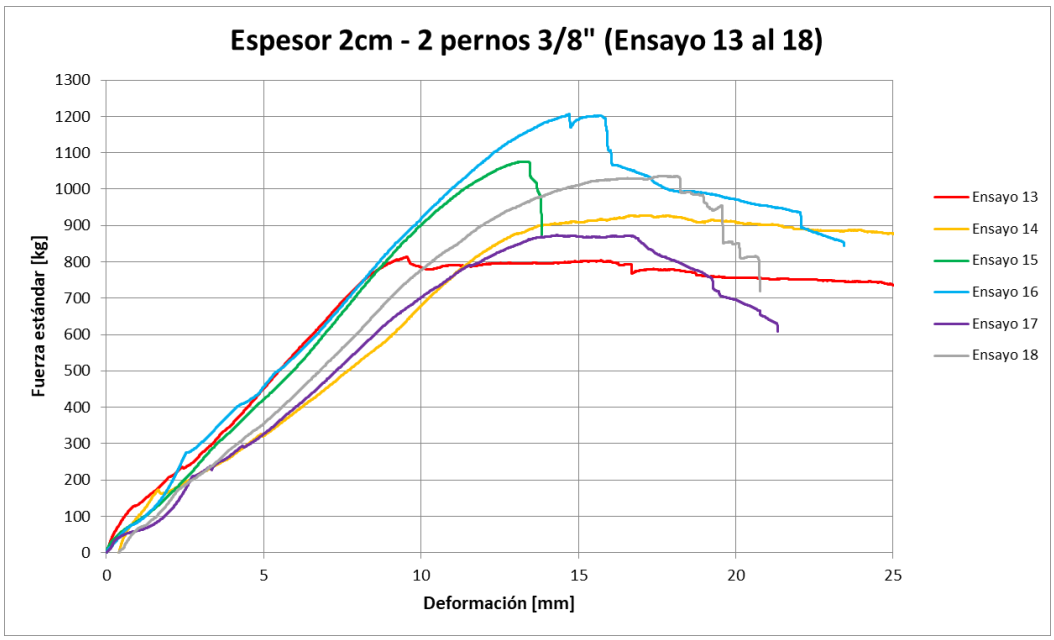
7.1.2. ESPESOR CENTRAL 2 CM Y 2 PERNOS DE 3/8"



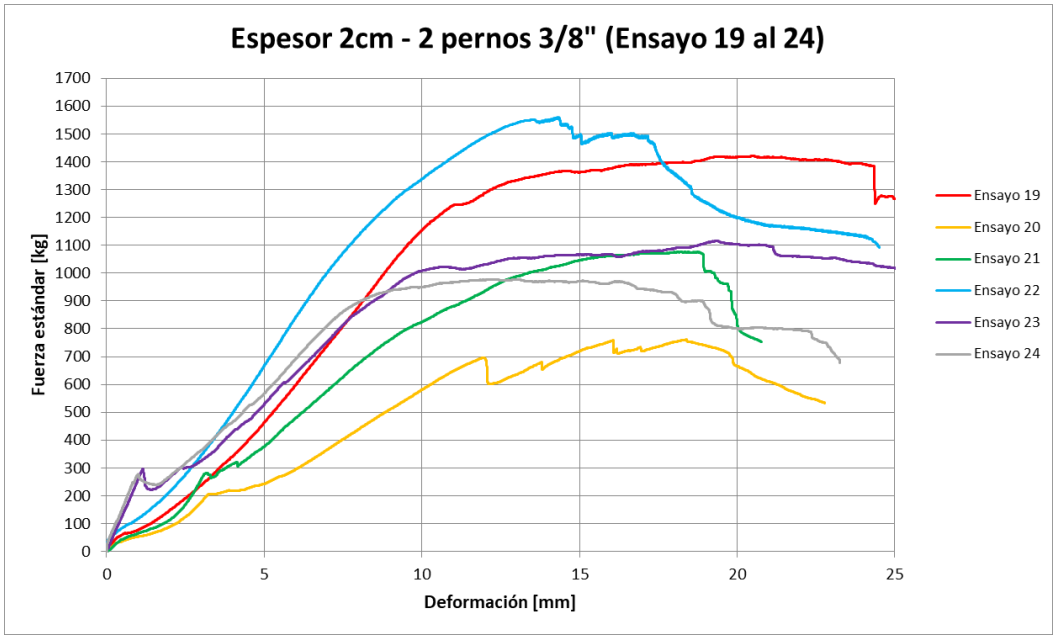
Gráfica N° 24: Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 1 al 6).



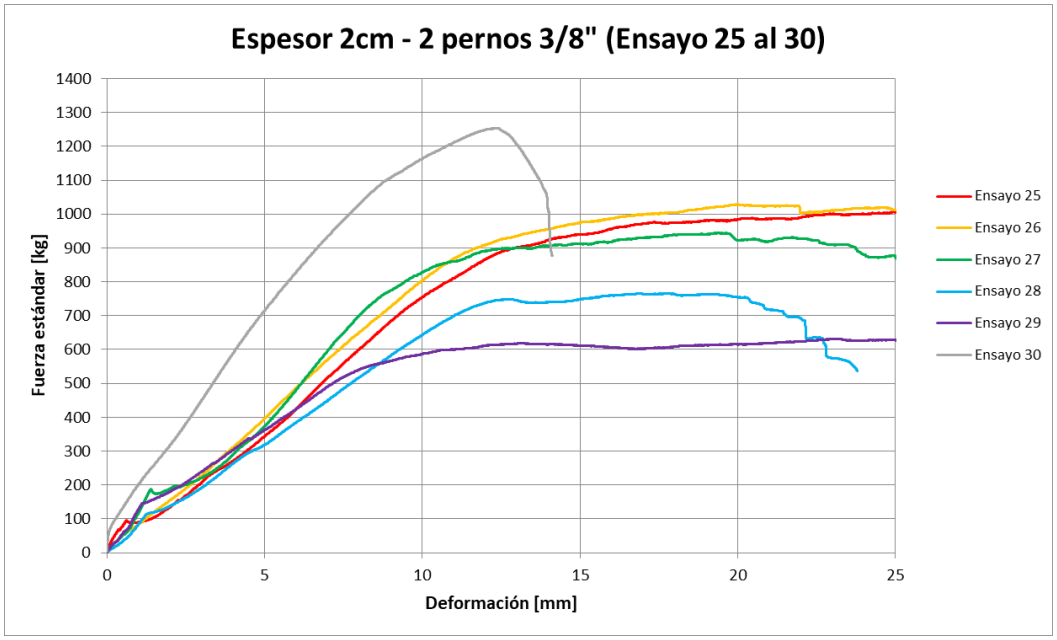
Gráfica N° 25. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 7 al 12).



Gráfica N° 26. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 13 al 18).



Gráfica N° 27. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 19 al 24).

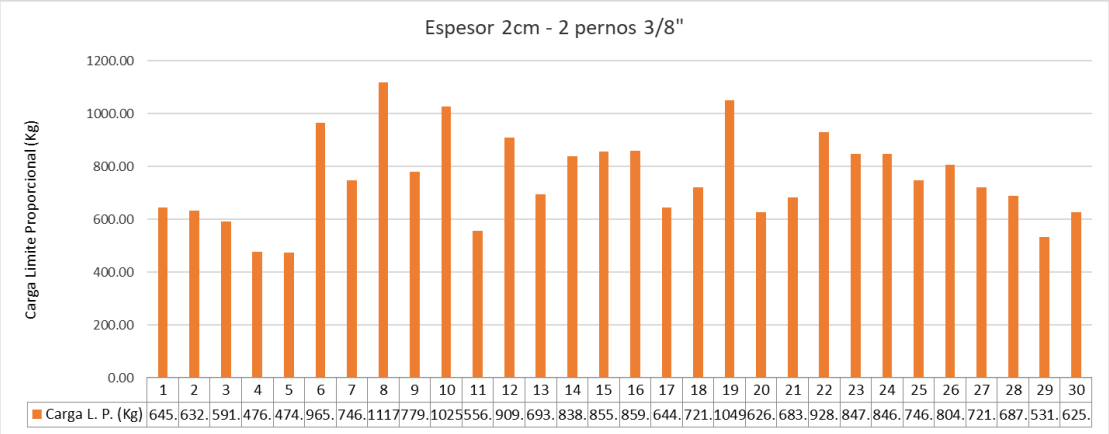


Gráfica N° 28. Carga – Deformación de muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8" (Ensayo 25 al 30).

Se obtuvieron valores de carga al límite proporcional a partir de las gráficas Cargas – Deformación de los ensayos de doble cizallamiento, realizados anteriormente.

Cuadro N°30 Cargas en probetas de espesor 2cm y 2 pernos 1/4"

Ensayo	Carga Limite Proporcional (kg)	Carga Última (kg)
1	645.03	1048.39
2	632.92	960.48
3	591.15	996.27
4	476.69	903.83
5	474.20	1037.44
6	965.59	1154.42
7	746.91	1123.65
8	1117.87	1404.91
9	779.22	986.54
10	1025.99	1190.58
11	556.66	672.08
12	909.64	1192.34
13	693.01	813.92
14	838.15	928.25
15	855.25	1076.05
16	859.14	1207.09
17	644.16	873.00
18	721.04	1036.78
19	1049.69	1420.30
20	626.96	760.63
21	683.81	1075.93
22	928.28	1559.48
23	847.67	1115.68
24	846.64	978.00
25	746.66	1018.36
26	804.50	1028.53
27	721.02	944.64
28	687.52	766.12
29	531.41	631.50
30	625.86	1252.91
PROMEDIO	**754.42**	**1038.60**
PERCENTIL (5%)	**476.69**	**672.08**



Gráfica N° 29. Resumen de ensayos a muestras de espesor 2cm y 2 pernos de 3/8".

El esfuerzo básico es hallado según lo mencionado en la norma E 010, la cual indica que el esfuerzo básico corresponde al mínimo a un límite de exclusión del 5% de Carga de Limite Proporcional, esto significa que estadísticamente se tomará el menor valor que esté por encima del 5% de la cantidad total de ensayos realizados. El 5% de 30 ensayos es 1.50, el menor valor por encima de 1.5 es 2. Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor de la carga limite proporcional del Cuadro N°37, que es 476.69 kg.

Carga básica=476.69 kg

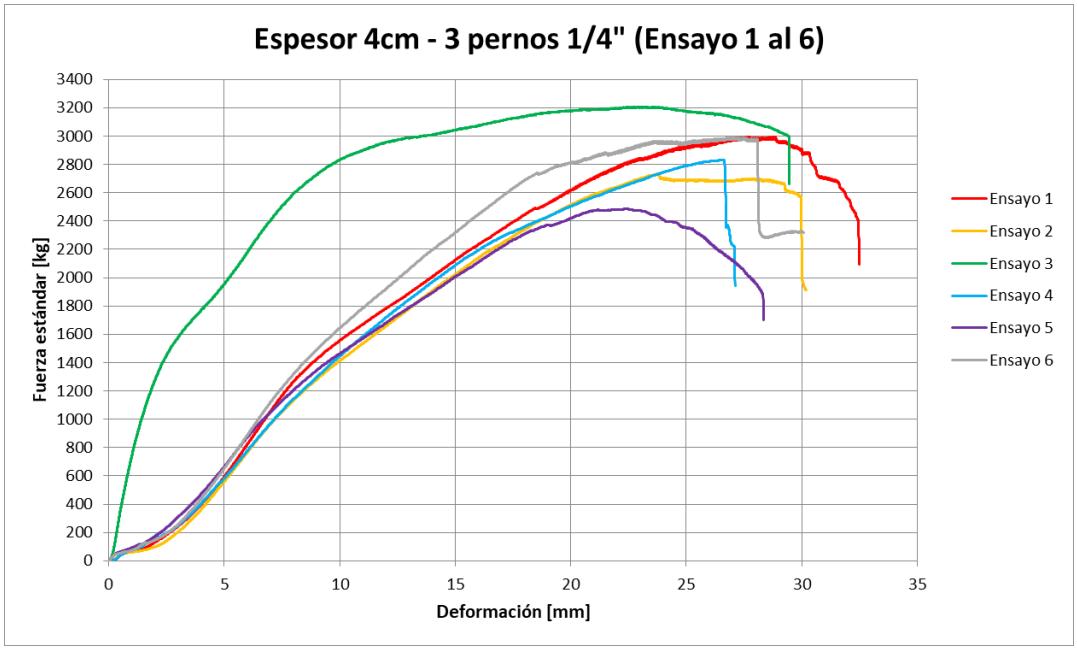
Para hallar la carga admisible se emplean los coeficientes de reducción igual a 2.

Por lo tanto, la carga admisible será:

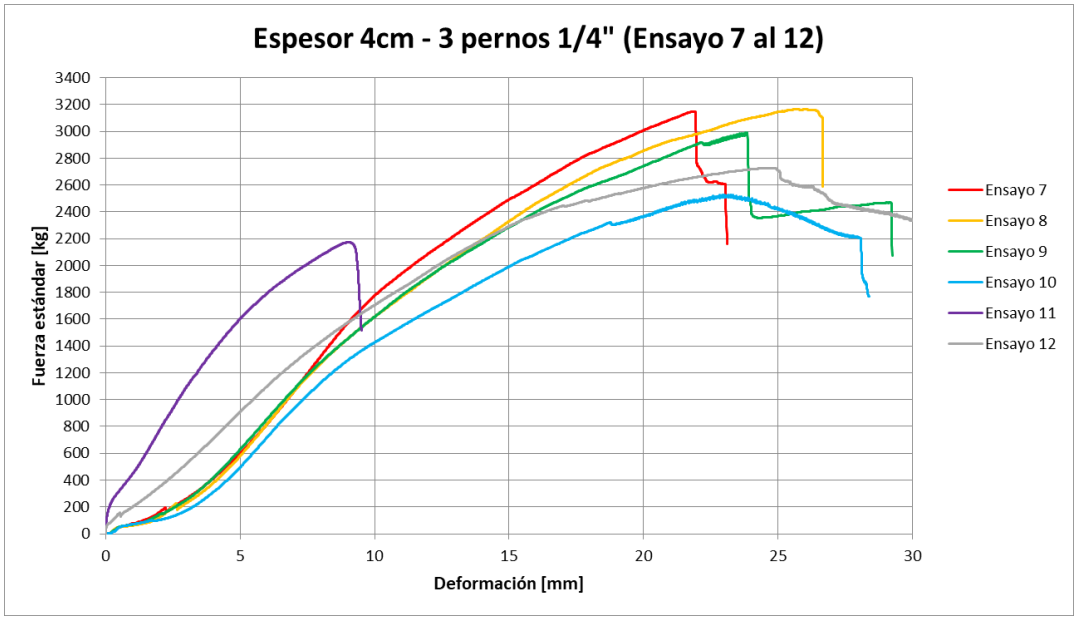
$$\text{Carga admisible} = \frac{Carga\ Basica}{2.00} = \frac{476.69}{2.00} = 238.34$$

Carga admisible = 238.34 kg

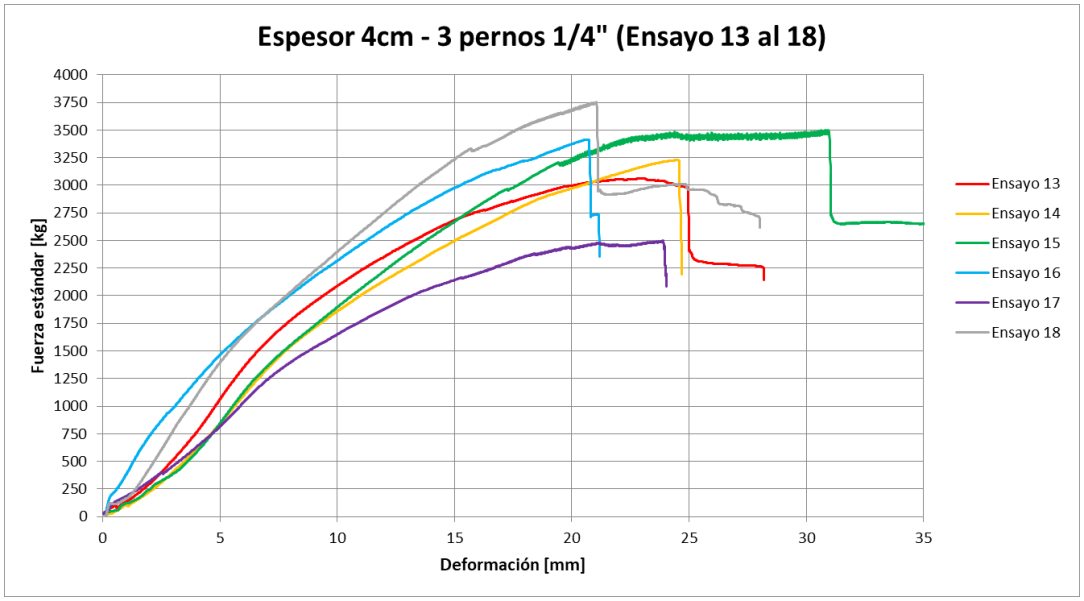
7.1.3. ESPESOR CENTRAL 4 CM Y 3 PERNOS DE 1/4"



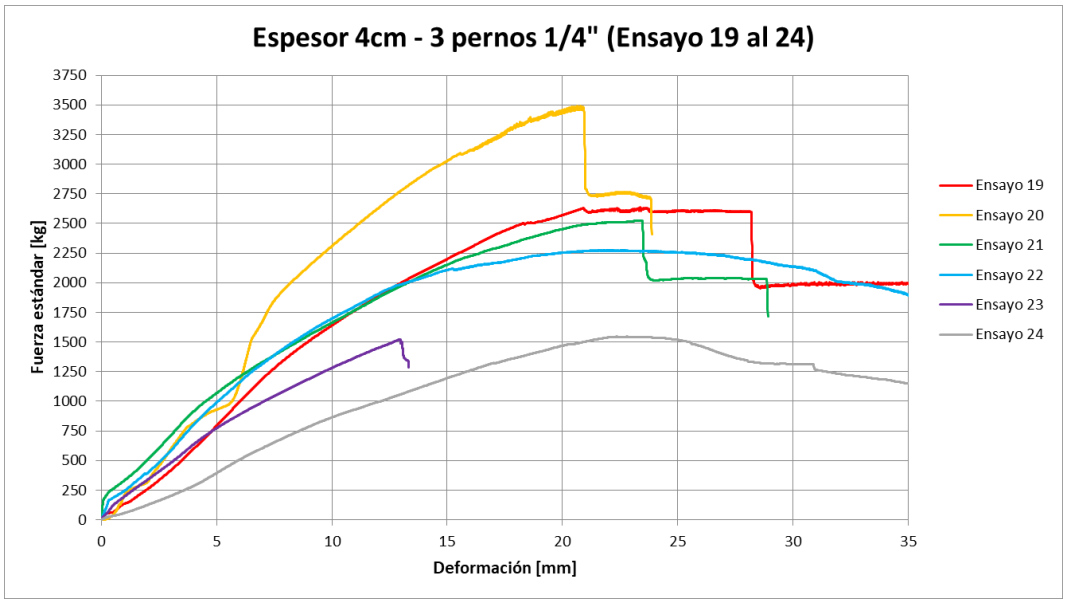
Gráfica N° 30. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 1 al 6).



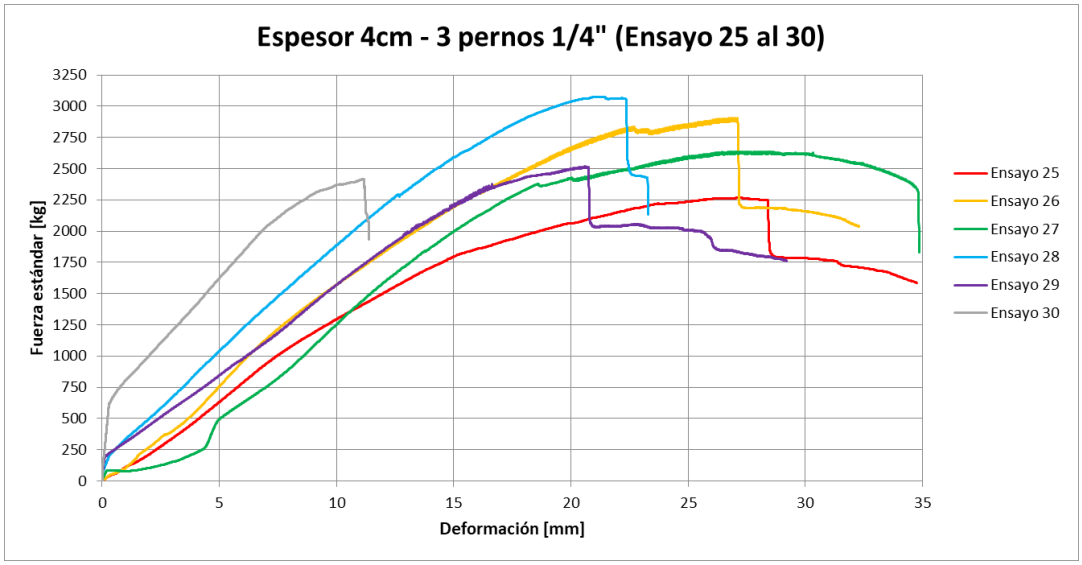
Gráfica N° 31. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 7 al 12).



Gráfica N° 32. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 13 al 18).



Gráfica N° 33. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 19 al 24).

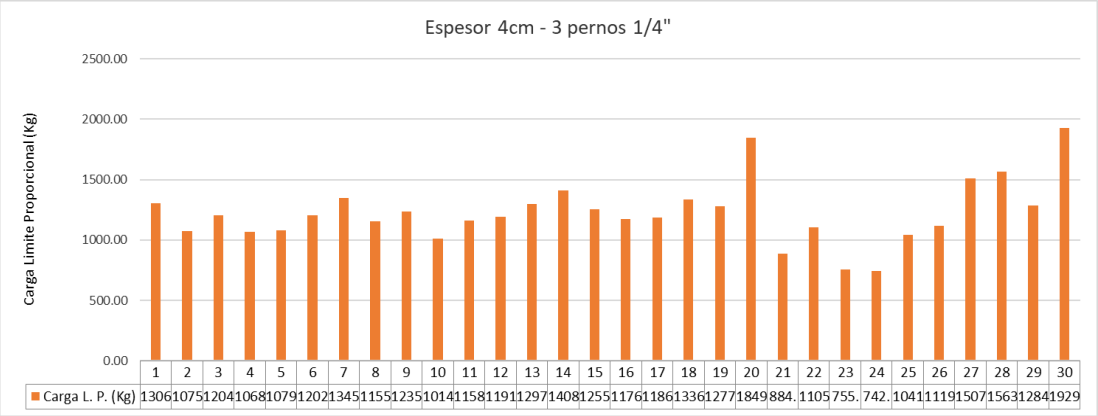


Gráfica N° 34. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4" (Ensayo 25 al 30).

Se obtuvieron valores de carga al límite proporcional a partir de las gráficas Cargas – Deformación de los ensayos de doble cizallamiento, realizados anteriormente.

Cuadro N°31 Cargas en probetas de espesor 4cm y 3 pernos 1/4"

Ensayo	Carga Limite Proporcional (kg)	Carga Última (kg)
1	1306.09	2994.76
2	1075.15	2731.49
3	1204.03	3205.73
4	1068.61	2829.77
5	1079.36	2485.41
6	1202.07	2990.99
7	1345.46	3149.19
8	1155.86	3166.59
9	1235.63	2989.12
10	1014.60	2528.24
11	1158.28	2174.86
12	1191.89	2725.99
13	1297.96	3064.19
14	1408.29	3227.35
15	1255.54	3500.17
16	1176.24	3414.41
17	1186.86	2495.93
18	1336.60	3750.76
19	1277.44	2634.77
20	1849.30	3488.84
21	884.64	2526.29
22	1105.68	2273.28
23	755.48	1523.97
24	742.83	1544.50
25	1041.06	2268.21
26	1119.64	2908.48
27	1507.40	2637.00
28	1563.83	3076.46
29	1284.38	2517.88
30	1929.86	2417.25
PROMEDIO	**1225.34**	**2774.73**
PERCENTIL (5%)	**755.48**	**1544.50**



Gráfica N° 35. Resumen de ensayos a muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 1/4".

El esfuerzo básico es hallado según lo mencionado en la norma E 010, la cual indica que el esfuerzo básico corresponde al mínimo a un límite de exclusión del 5% de Carga de Limite Proporcional, esto significa que estadísticamente se tomará el menor valor que esté por encima del 5% de la cantidad total de ensayos realizados. El 5% de 30 ensayos es 1.50, el menor valor por encima de 1.5 es 2. Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor de la carga limite proporcional del Cuadro N°38, que es 755.48 kg.

Carga básica=755.48 kg

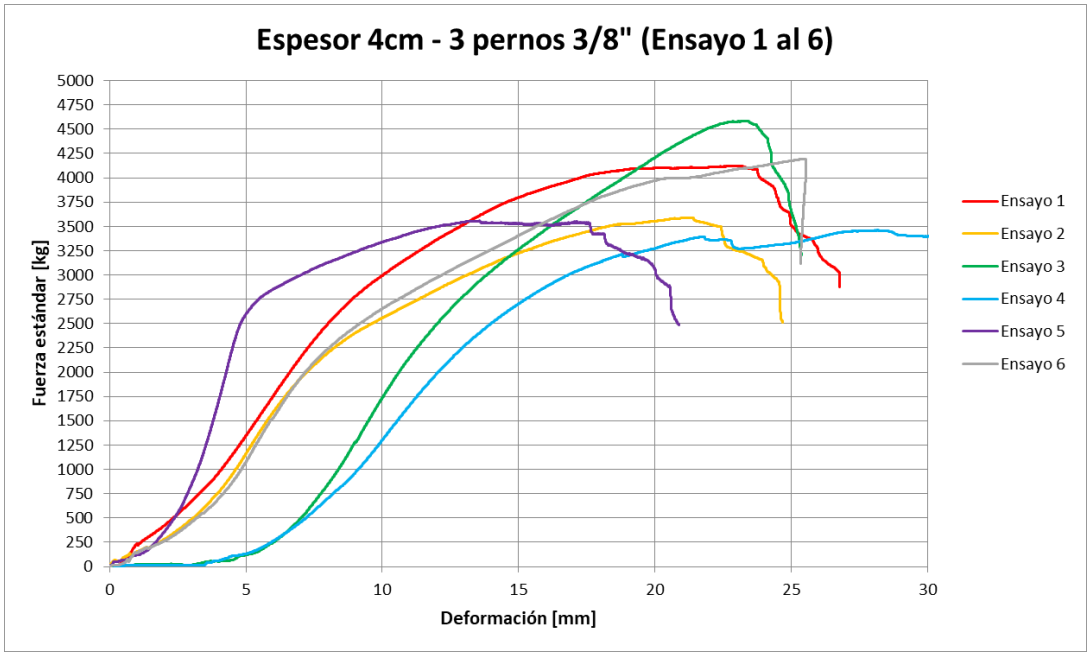
Para hallar la carga admisible se emplean los coeficientes de reducción igual a 2.

Por lo tanto, la carga admisible será:

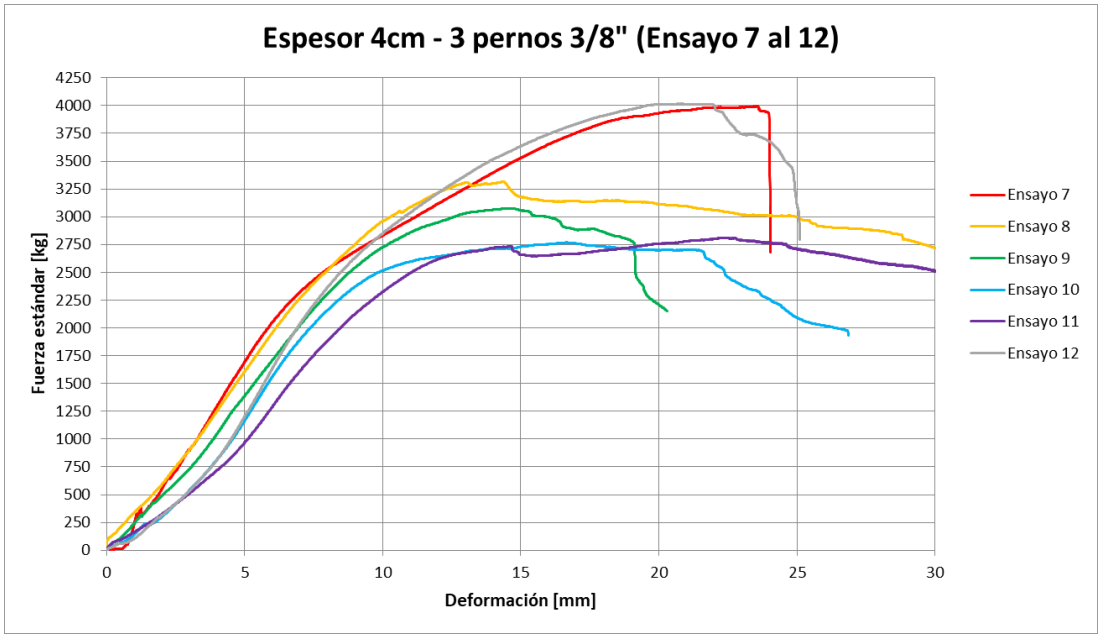
$$\text{Carga admisible} = \frac{Carga\ Basica}{2.00} = \frac{755.48}{2.00} = 377.74$$

Carga admisible = 377.74 kg

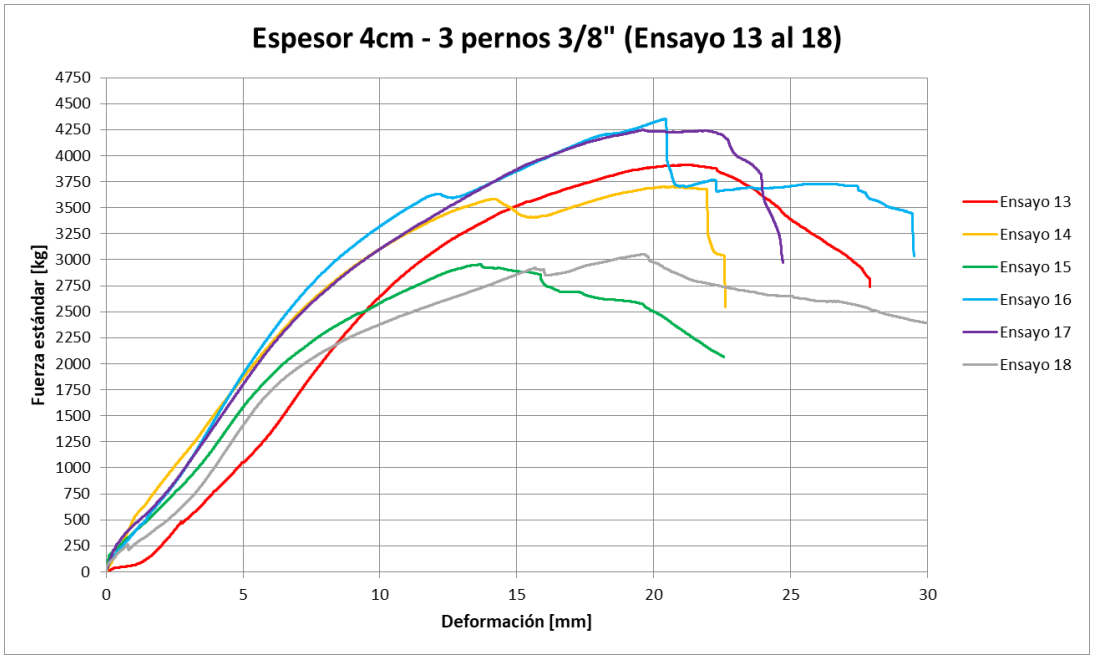
7.1.4. ESPESOR CENTRAL 4 CM Y 3 PERNOS DE 3/8"



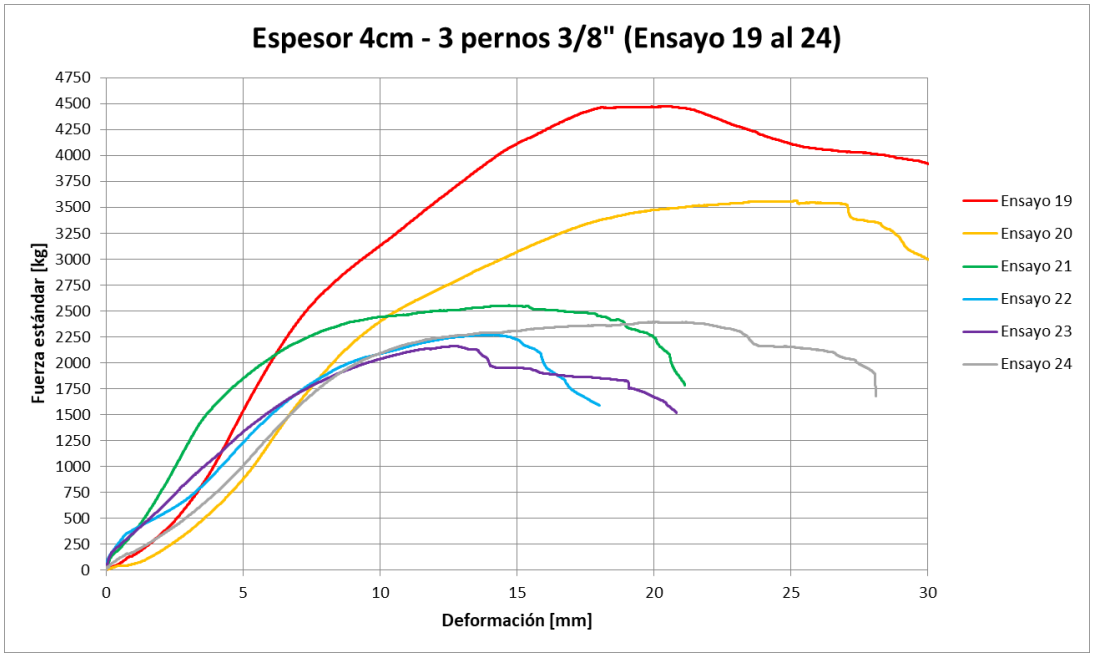
Gráfica N° 36. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 1 al 6).



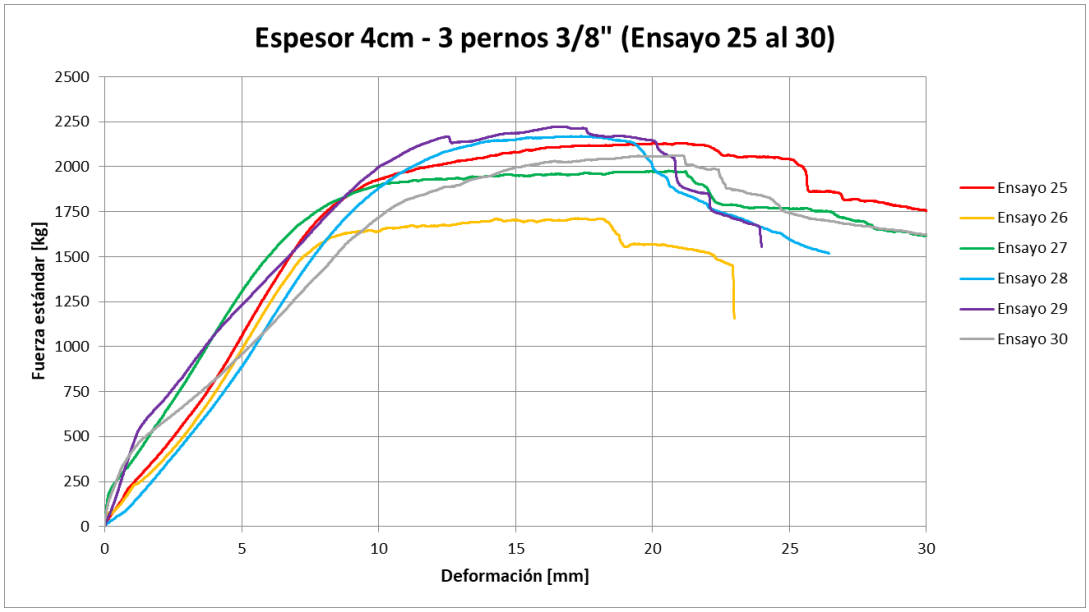
Gráfica N° 37. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 7 al 12).



Gráfica N° 38. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 13 al 18).



Gráfica N° 39. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 19 al 24).

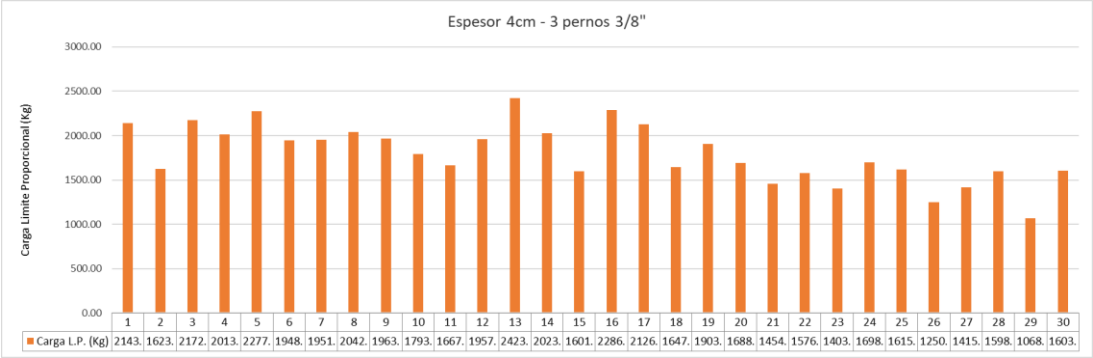


Gráfica N° 40. Carga – Deformación de muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8" (Ensayo 25 al 30).

Se obtuvieron valores de carga al límite proporcional a partir de las gráficas Cargas – Deformación de los ensayos de doble cizallamiento, realizados anteriormente.

Cuadro N°32. Cargas en probetas de espesor 4cm y 3 pernos 1/4"

Ensayo	Carga Limite Proporcional (kg)	Carga Última (kg)
1	2143.31	1712.00
2	1623.08	1977.47
3	2172.24	2063.51
4	2013.44	2131.31
5	2277.55	2165.39
6	1948.80	2168.91
7	1951.38	2223.54
8	2042.07	2272.09
9	1963.52	2392.93
10	1793.83	2553.17
11	1667.40	2769.31
12	1957.43	2809.77
13	2423.22	2953.11
14	2023.96	3054.54
15	1601.18	3076.65
16	2286.52	3312.15
17	2126.91	3458.91
18	1647.30	3557.37
19	1903.98	3560.58
20	1688.69	3591.09
21	1454.31	3702.09
22	1576.99	3911.98
23	1403.59	3994.57
24	1698.95	4015.62
25	1615.38	4120.87
26	1250.16	4195.96
27	1415.85	4248.28
28	1598.67	4355.12
29	1068.35	4471.48
30	1603.44	4585.06
PROMEDIO	**1798.05**	**3180.16**
PERCENTIL (5%)	**1250.16**	**1977.47**



Gráfica N° 41. Resumen de ensayos a muestras de espesor 4cm y 3 pernos de 3/8".

El esfuerzo básico es hallado según lo mencionado en la norma E 010, la cual indica que el esfuerzo básico corresponde al mínimo a un límite de exclusión del 5% de Carga de Limite Proporcional, esto significa que estadísticamente se tomará el menor valor que esté por encima del 5% de la cantidad total de ensayos realizados. El 5% de 30 ensayos es 1.50, el menor valor por encima de 1.5 es 2. Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor de la carga limite proporcional del Cuadro N°32, que es 1250.16 kg.

Carga básica=1250.16 kg

Para hallar la carga admisible se emplean los coeficientes de reducción igual a 2.

Por lo tanto, la carga admisible será:

$$\text{Carga admisible} = \frac{\text{Carga } Basica}{2.00} = \frac{1250.16}{2.00} = 625.08$$

Carga admisible = 625.08 kg

7.2. COMPARACION DE RESULTADOS CON LA NORMA E 010

Luego de obtener los resultados, se procedió a compararlos con los indicados en el Cuadro N°33 y el Cuadro N°34, el cual nos indican las cargas admisibles para los 3 tipos de madera:

Cuadro N°33. Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento, pieza central de 2 cm.

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO "N" (kg)							
d	d	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
CM	PLG	P	Q	P	Q	P	Q
Espesor de la pieza central = 2,0 cm							
0.63	**1/4**	1912	863	1285	569	**735**	333
		(195)	(88)	(131)	(58)	**(75)**	34
0.95	**3/8**	2913	990	1922	657	**1108**	382
		(297)	(101)	(196)	(67)	**(113)**	(39)

Elaboración Propia. Fuente: RNE. E 010.

Cuadro N°34. Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento, pieza central de 4 cm.

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO "N" (kg)							
d	d	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
CM	PLG	P	Q	P	Q	P	Q
Espesor de la pieza central = 4,0 cm							
0.63	**1/4**	2511	1412	1961	1118	**1255**	667
		(256)	(144)	(200)	(114)	**(128)**	(68)
0.95	**3/8**	4815	1971	3785	1314	**2216**	765
		(491)	(201)	(386)	(134)	**(226)**	(78)

Elaboración Propia. Fuente: RNE. E 010.

Donde:

P: compresión paralela.

Q: compresión perpendicular.

La norma nos indica que cuando se usan 2 pernos o más se debe utilizar un factor de reducción de carga la cual varía dependiendo del número de pernos en la línea de cargas, ver Cuadro N°35.

Cuadro N°35. Factores de reducción a la carga admisible en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada.

FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA CARGA ADMISIBLE EN FUNCION DEL NÚMERO DE PERNOS POR LÍNEA PARALELA A LA DIRECCIÓN DE LA CARGA APLICADA					
Tipo de elemento lateral	Número de pernos por línea				
	2	**3**	4	5	6
Uniones con elementos laterales de madera	**1.00**	**0.92**	0.84	0.76	0.68
Uniones con elementos laterales metálicos	1.00	0.94	0.87	0.80	0.73

Elaboración Propia. Fuente: RNE. E 010.

Teniendo en consideración los factores de reducción y los valores de los ensayos, se obtiene como resultado los valores de cargas admisibles mostrados en los Cuadro N°36 y Cuadro N°37.

Cuadro N°36. Comparativo de cargas admisibles de la madera Pashaco con los demas tipos de madera, usando pieza central de 2cm para pernos de 1/4” y 3/8”.

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO CON ESPESOR DE LA PIEZA CENTRAL 2 CM (kg) Y 2 PERNOS DE 1/4” Y 3/8”					
N° DE PERNOS	**Diámetro**	**GRUPO A**	**GRUPO B**	**GRUPO C**	**PASHACO**
2	1/4"	390.00	262.00	**150.00**	**145.31**
2	3/8”	594.00	202.00	**226.00**	**238.34**

Elaboración Propia.

Cuadro N°37. Comparativo de cargas admisibles de la madera Pashaco con los demas tipos de madera, usando pieza central de 4cm para pernos de 1/4” y 3/8”.

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO CON ESPESOR DE LA PIEZA CENTRAL 4 CM (kg) Y 3 PERNOS DE 1/4” Y 3/8”					
N° DE PERNOS	**Diámetro**	**GRUPO A**	**GRUPO B**	**GRUPO C**	**PASHACO**
3	1/4"	706.56	552.00	**353.28**	**377.74**
3	3/8”	1355.16	1065.36	**623.76**	**625.08**

Elaboración Propia.

Los resultados de las cargas admisibles en uniones empernadas a doble cizallamiento para espesores de 2 cm y 4 cm son cercanos a los valores del grupo C, a pesar de que la madera de Pashaco (*Albizzia sp*.) es de menor densidad que las del grupo C (0,40 g/cm), esto se evidenció en los ensayos de densidad básica realizados en el capítulo 5.2.1, así como en la tesis de investigación "Clasificación Estructural de la Madera Pashaco (*Albizzia sp*.) ", en la que se obtuvo un valor de densidad básica de 0.39 g/cm³.

7.3. COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDO Y EL MANUAL DE DISEÑO DEL GRUPO ANDINO

Se procede a comparar los resultados obtenidos en los ensayos, con el manual de diseño, el cual en la sección 12.2 nos indica el procedimiento para hallar los esfuerzos admisibles en base a la densidad de la muestra y el área de contacto del perno en la madera central.

Espesor 2 cm con 2 pernos 1/4" (ℓ/d=3.14):

Se halla el esfuerzo valor medio del límite proporcional:

$$\sigma_{LP,promedio} = 520.8\rho^{1.453}$$

$$\sigma_{U,min} = 866.8\rho^{1.729}$$

Se ha obtenido la densidad promedio de las muestras, dando por resultado una densidad de 0.35 gr/cm3, por lo que se obtiene:

$$\sigma_{LP,promedio} = 115.49\ kg$$

$$\sigma_{U,min} = 144.39\ kg$$

Con estos valores se calculará la carga promedio mediante la fórmula:

$$P_{LP,promedio} = (\ell p)\sigma_{LP,promedio}R_{LP}$$

$$P_{Umin} = (\ell p)\sigma_{u,min}R_u$$

Donde ℓp, es el área de contacto del perno con la pieza central proyectada al plano perpendicular a la dirección de la carga. Para un espesor de 2 cm y diámetro de 1/4", ℓp =1.27 cm^2.

Los valores de R_{LP} y R_u son factores de reducción. El manual de diseño del grupo andino, nos indica que se deberá aplicar los coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralela al grano (Ver Cuadro N°38), por lo que se deberá afectar los valores previamente hallados por estos coeficientes.

Cuadro N°38. Coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano.

l/d	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
	$R_{L.P.}$	R_U	$R_{L.P.}$	R_U	$R_{L.P.}$	R_U
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	0.856	1.000	0.956	1.000	1.000	1.000
4	0.714	0.904	0.798	1.000	0.864	1.000
5	0.624	0.823	0.694	0.903	0.736	0.976
6	0.559	0.762	0.620	0.820	0.645	0.874
7	0.509	0.713	0.563	0.755	0.578	0.796
8	0.469	0.674	0.518	0.704	0.525	0.734

Fuente: Manual de diseño del grupo Andino, 1984 y RNE E010

La razón de esbeltez es l/d=2/(1/4x2.54) = 3.14, debido a que no se conoce valores para maderas de menor densidad que el grupo C, se asumirá el valor del tipo C, los valores correspondientes para razón de esbeltez de 3.14 es de R_{LP} de 0.98 y R_U será de 1.00 (Ver Cuadro N°38).

Con estos valores se calculará la carga promedio mediante la fórmula:

$$P_{LP,promedio} = (\ell p)\sigma_{LP,promedio} R_{LP}$$

$$P_{Umin} = (\ell p)\sigma_{u,min} R_u$$

Donde:

$$\ell p = 1.27 cm^2$$

$$R_{LP} = 0.98$$

$$R_u = 1.00$$

Las cargas promedio serán de:

P_{LP}= 143.88 kg y P_U=183.38 kg.

Finalmente, la carga admisible es el menor valor de:

$$P_{admisible} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}$$

$$P_{admisible} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

El valor de F_{LP} y F_u se obtiene del Cuadro N°39 sobre factores de reducción de cargas.

Cuadro N°39. Factores de reducción para la obtención de cargas paralelas al grano (Manual de diseño del grupo Andino, 1984).

Consideraciones de diseño	**Valor promedio de la carga al límite proporcional (condición de servicio)**	**Valor mínimo de la carga máxima (condición interna)**
Duración de carga	1.33	1.6
Factores de carga	1	1.5
Aproximación del análisis y otros	1.25	1.25
	F_{LP} = 1.67	F_U = 3.00

Fuente: Manual de diseño del grupo Andino, 1984 y RNE E010

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **86.16 kg y 61.13 kg.**

Para dos pernos de 1/4":

$$P_{LP,admisible} = P_{LP,admisible}\ (N)(Fc)$$

$$P_{LP,admisible} = 61.13\ (2)(1)$$

$$\boldsymbol{P_{LP,admisible} = 122.25\ Kg}$$

Espesor 2 cm con 2 pernos 3/8" (ℓ/d=2.09):

Se halla el esfuerzo valor medio del límite proporcional. Para una densidad de 0.38 gr/cm3, se obtiene:

$$\sigma_{LP,promedio} = 126.30$$

$$\sigma_{U,min} = 160.61$$

La razón de esbeltez es l/d=2/(3/8x2.54) = 2.09, para este valor R_{LP} será de 1.00 y R_U será de 1.00 (Ver Cuadro N°38).

ℓp =1.90 cm^2, para un espesor de 2 cm y diámetro de 3/8". Ahora se calcula la carga promedio mediante la fórmula:

$$P_{LP,promedio} = (\ell p)\sigma_{LP,promedio} R_{LP}$$

$$P_{Umin} = (\ell p)\sigma_{u,min} R_u$$

Las cargas promedio serán de:

P_{LP} = 240.60 kg y P_U = 305.95 kg.

Finalmente, la carga admisible es el menor valor de:

$$P_{admisible} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}$$

$$P_{admisible} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

El valor de F_{LP} se obtiene del Cuadro N°39, factores de reducción de cargas.

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **144.07 kg y 101.99 kg.**

Para dos pernos de 3/8":

$$P_{LP,admisible} = P_{LP,admisible}\,(N)(Fc)$$

$$P_{LP,admisible} = 101.99\,(2)(1)$$

$$P_{LP,admisible} = 203.98\,Kg$$

Espesor 4 cm con 3 pernos 1/4" (ℓ/d=6.29):

Se halla el esfuerzo valor medio del límite proporcional. Para una densidad de 0.40 gr/cm3, se obtiene:

$$\sigma_{LP,promedio} = 138.37$$

$$\sigma_{U,min} = 179.03$$

La razón de esbeltez es l/d=4/(1/4x2.54) = 6.29, para este valor R_{LP} será de 0.63 y R_U será de 0.85 (Ver Cuadro N°38).

ℓp =2.54 cm^2, para un espesor de 4 cm y diámetro de 1/4". Ahora se calcula la carga promedio mediante la fórmula:

$$P_{LP,promedio} = (\ell p)\sigma_{LP,promedio} R_{LP}$$

$$P_{Umin} = (\ell p)\sigma_{u,min} R_u$$

Las cargas promedio serán de:

P_{LP} = 219.86 kg y P_U = 387.16 kg.

Finalmente, la carga admisible es el menor valor de:

$$P_{admisible} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}$$

$$P_{admisible} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

El valor de F_{LP} se obtiene del Cuadro N°39, factores de reducción de cargas.

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **131.65 kg y 129.05 kg.**

Para tres pernos de 3/8":

$$P_{LP,admisible} = P_{LP,admisible}\,(N)(Fc)$$

$$P_{LP,admisible} = 129.05\,(3)(0.92)$$

$$P_{LP,admisible} = 356.178\,Kg$$

Espesor 4 cm con 3 pernos 3/8" (ℓ/d=4.19):

Se halla el esfuerzo valor medio del límite proporcional. Para una densidad de 0.39 gr/cm3, se obtiene:

$$\sigma_{LP,promedio} = 134.86$$

$$\sigma_{U,min} = 173.65$$

La razón de esbeltez es l/d=4/(3/8x2.54) = 4.19, para este valor R_{LP} será de 0.84 y R_U será de 1.00 (Ver Cuadro N°38).

ℓp =381 cm^2, para un espesor de 4 cm y diámetro de 3/8". Ahora se calcula la carga promedio mediante la fórmula:

$$P_{LP,promedio} = (\ell p)\sigma_{LP,promedio} R_{LP}$$

$$P_{Umin} = (\ell p)\sigma_{u,min} R_u$$

Las cargas promedio serán de:

P_{LP} = 431.44 kg y P_U = 658.57 kg.

Finalmente, la carga admisible es el menor valor de:

$$P_{admisible} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}$$

$$P_{admisible} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

El valor de F_{LP} se obtiene del Cuadro N°39, factores de reducción de cargas.

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **258.34 kg y 219.52 kg.**

Para tres pernos de 3/8":

$$P_{LP,admisible} = P_{LP,admisible}\,(N)(Fc)$$

$$P_{LP,admisible} = 219.52\,(3)(0.92)$$

$$P_{LP,admisible} = 605.89\,Kg$$

En el siguiente Cuadro N°40Cuadro N°40, se aprecia la comparación de los resultados obtenidos mediante los ensayos y los cálculos según el manual de diseño:

Cuadro N°40. Comparación de cargas admisibles obtenidas mediante ensayos y calculadas con el manual de madera del grupo Andino.

Espesor de la pieza central (cm)	Diámetro (pulg)	N° de pernos	Carga admisible por ensayos (kg)	Carga admisible calculada (kg)	Variación (%)
2	1/4"	2	**145.31**	122.25	18.86%
	3/8”	2	**238.34**	203.98	16.84%
4	1/4"	3	**377.74**	356.17	6.05%
	3/8”	3	**625.08**	605.89	3.16%

Elaboración Propia.

7.4. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA RESISTENCIA DE LAS PROBETAS DE MADERA

Tomando en consideración el manual de madera del grupo andino, esta nos indica que la relación entre el contenido de humedad y la resistencia es del tipo exponencial. A continuación, en el capítulo 6.4.1, se muestran los resultados del contenido de humedad de las probetas ensayadas y en el capítulo 6.4.2, los comparativos obtenidos en base a los ensayos de resistencia y el contenido de humedad por cada probeta ejecutada.

7.4.1. RESULTADO DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN PROBETAS DE MADERA

En base lo especificado en el ítem 5.2.1. ensayo en contenido de Humedad, se presenta los cuadros con los resultados de todas las probetas ensayadas, para su posterior comparativo con las resistencias obtenidas.

Cuadro N°41. Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 2cm con 2 pernos de 1/4".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	53.90	45.10	19.51
Muestra 2	47.70	39.90	19.55
Muestra 3	30.70	25.80	18.99
Muestra 4	37.30	31.40	18.79
Muestra 5	40.40	34.00	18.82
Muestra 6	50.70	42.60	19.01
Muestra 7	52.80	44.10	19.73
Muestra 8	52.80	44.30	19.19
Muestra 9	38.80	32.40	19.75
Muestra 10	49.80	41.80	19.14
Muestra 11	47.40	39.70	19.40
Muestra 12	38.00	31.90	19.12
Muestra 13	41.60	34.90	19.20
Muestra 14	48.50	40.70	19.16
Muestra 15	38.10	32.00	19.06
Muestra 16	39.10	32.80	19.21
Muestra 17	47.90	40.40	18.56
Muestra 18	48.20	40.40	19.31
Muestra 19	45.70	38.40	19.01
Muestra 20	31.90	26.80	19.03
Muestra 21	43.30	36.50	18.63
Muestra 22	32.60	27.20	19.85
Muestra 23	46.40	39.20	18.37
Muestra 24	39.30	33.30	18.02
Muestra 25	42.20	35.70	18.21
Muestra 26	43.10	36.30	18.73
Muestra 27	34.80	29.10	19.59
Muestra 28	45.90	38.50	19.22
Muestra 29	35.20	29.60	18.92
Muestra 30	37.3	31.5	18.41

Cuadro N°42. Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 2cm con 2 pernos de 3/8".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	48	39.9	20.30
Muestra 2	40.3	33.7	19.58
Muestra 3	41.6	34.8	19.54
Muestra 4	50	41.8	19.62
Muestra 5	39.4	33.2	18.67
Muestra 6	47.3	39.6	19.44
Muestra 7	54.7	45.9	19.17
Muestra 8	50.2	42.1	19.24
Muestra 9	48.4	40.5	19.51
Muestra 10	49.4	41.1	20.19
Muestra 11	39.9	33.4	19.46
Muestra 12	46.6	39	19.49
Muestra 13	44.6	37.4	19.25
Muestra 14	42.9	36	19.17
Muestra 15	57.9	48.9	18.40
Muestra 16	54.4	45.4	19.82
Muestra 17	43.1	36.2	19.06
Muestra 18	36.3	30.4	19.41
Muestra 19	56.3	47.2	19.28
Muestra 20	43.5	36.3	19.83
Muestra 21	54.8	45.8	19.65
Muestra 22	66.7	56.5	18.05
Muestra 23	42.6	35.8	18.99
Muestra 24	35.5	29.8	19.13
Muestra 25	42.6	35.8	18.99
Muestra 26	61.5	51.6	19.19
Muestra 27	43.1	36.3	18.73
Muestra 28	32.1	26.8	19.78
Muestra 29	36.5	30.5	19.67
Muestra 30	51.80	43.50	19.08

Cuadro N°43. Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 4cm con 3 pernos de 1/4".

Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	47.6	39.8	19.60
Muestra 2	45.1	37.7	19.63
Muestra 3	46.9	39.4	19.04
Muestra 4	44.2	36.7	20.44
Muestra 5	45	37.8	19.05
Muestra 6	48.9	40.9	19.56
Muestra 7	46.7	39	19.74
Muestra 8	48.8	40.4	20.79
Muestra 9	49	41.1	19.22
Muestra 10	46.5	38.7	20.16
Muestra 11	47.9	40.1	19.45
Muestra 12	50.7	42.2	20.14
Muestra 13	38.4	32	20.00
Muestra 14	46.7	39.1	19.44
Muestra 15	51.3	42.5	20.71
Muestra 16	41.8	34.7	20.46
Muestra 17	54.3	45.5	19.34
Muestra 18	50	42.1	18.76
Muestra 19	44.8	37.6	19.15
Muestra 20	96.8	81.2	19.21
Muestra 21	76.9	64.4	19.41
Muestra 22	61.3	51.6	18.80
Muestra 23	75.7	62.3	21.51
Muestra 24	79.4	66.9	18.68
Muestra 25	92.1	76.8	19.92
Muestra 26	71.4	60.6	17.82
Muestra 27	34.3	28.9	18.69
Muestra 28	37.5	32.3	16.10
Muestra 29	32.2	27.3	17.95
Muestra 30	35.3	30.3	16.50

Cuadro N°44. Resultado de contenidos de humedad a las muestras de los ensayos de espesor central 4cm con 3 pernos de 3/8".

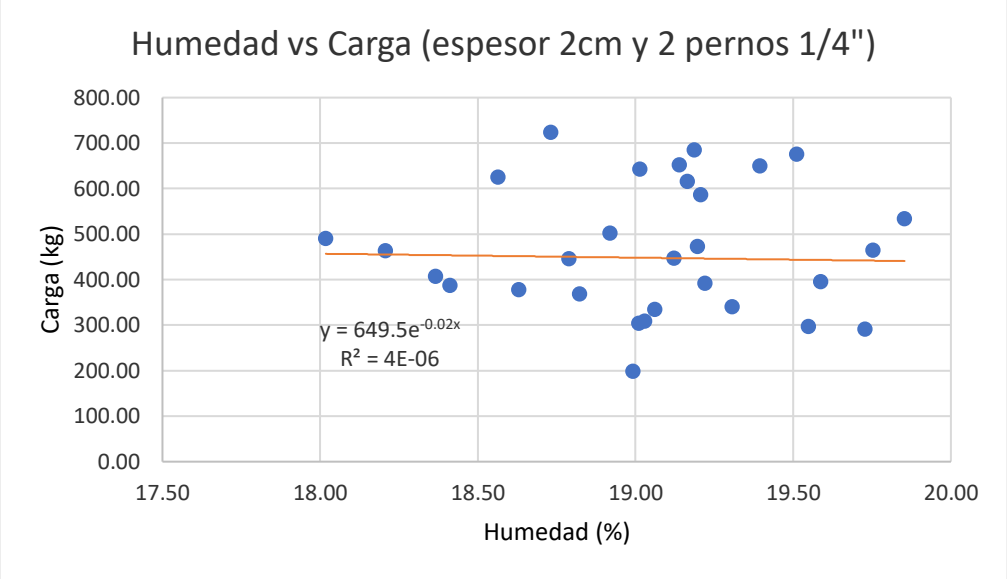
Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
Muestra 1	52.2	43.9	18.91
Muestra 2	53	44.5	19.10
Muestra 3	44.1	37.2	18.55
Muestra 4	45.6	38.2	19.37
Muestra 5	45.6	38.2	19.37
Muestra 6	49.9	41.9	20.15
Muestra 7	45.2	37.8	19.58
Muestra 8	49.4	41.3	19.61
Muestra 9	50.2	42.1	19.24
Muestra 10	43.4	36.2	19.89
Muestra 11	43.9	36.8	19.29
Muestra 12	49.8	41.4	20.29
Muestra 13	51	42.7	19.44
Muestra 16	54.9	45.8	19.87
Muestra 17	44.4	37.2	19.35
Muestra 18	61.4	51.2	19.92
Muestra 19	47.3	39.3	20.36
Muestra 20	48.5	40.2	20.65
Muestra 21	49.1	41.2	19.17
Muestra 22	48.3	40.4	19.55
Muestra 23	44.5	36.5	21.92
Muestra 24	52.7	43.9	20.05
Muestra 25	60.8	47.2	28.81
Muestra 26	54.7	42.8	27.80
Muestra 27	38.1	30.6	24.51
Muestra 28	42.4	33.8	25.44
Muestra 29	44.4	37	20.00
Muestra 30	52.8	44.5	18.65
Muestra 31	48.6	40.2	20.90
Muestra 32	56.2	45.7	22.98

7.4.2. COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y RESISTENCIA DE PROBETAS DE MADERA

Con los resultados obtenidos tanto de los ensayos de contenido de humedad y de resistencia a doble cizallamiento se obtuvieron cuadros comparativos para poder determinar la relación entre ellas y la posible curva de tendencia. A continuación,

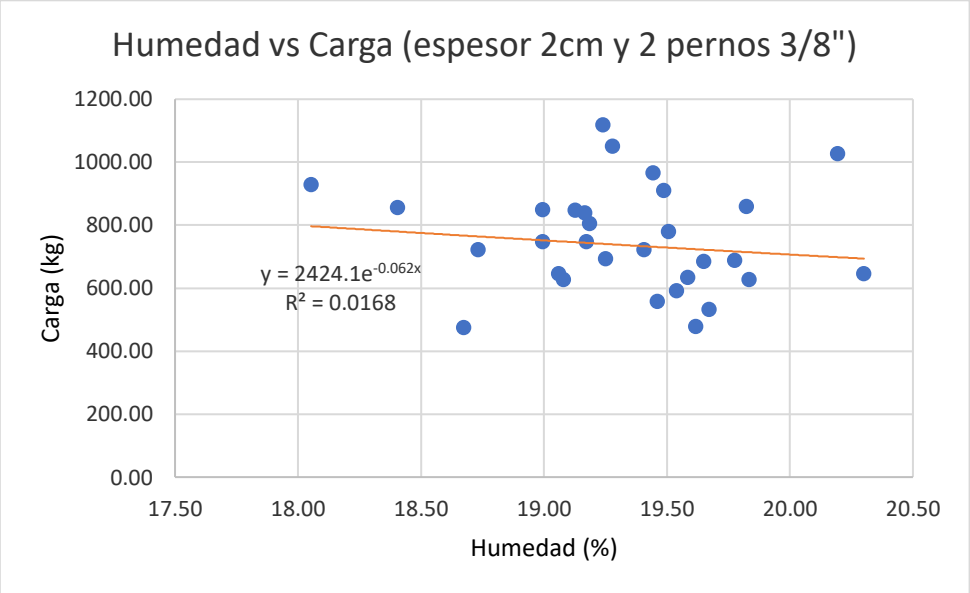
se muestran los cuadros comparativos de todos los ensayos realizados para los distintos tipos de espesor y pernos.

Cuadro N°45. Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8".



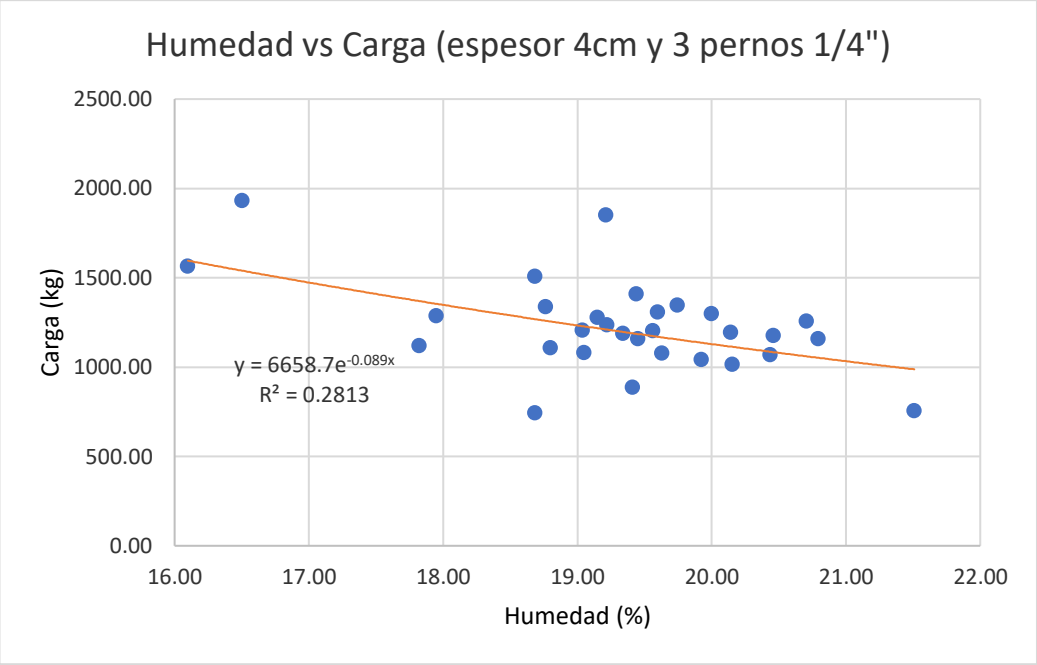
Elaboración Propia.

Cuadro N°46. Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8".



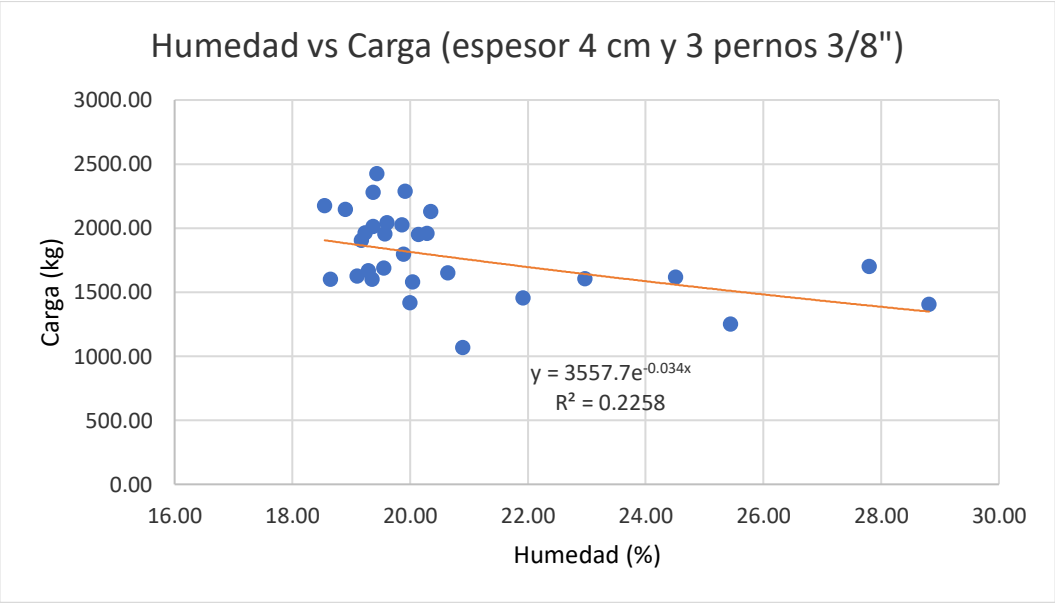
Elaboración Propia.

Cuadro N°47. Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8".



Elaboración Propia.

Cuadro N°48. Comparación de cargas admisibles y humedad. Espesor 2cm y 2 pernos 3/8".



Elaboración Propia.

Según los gráficos en base a los ensayos realizados, se concluye que existe una relación inversa entre la resistencia y el contenido de humedad. En los gráficos se presentan las curvas exponenciales con tendencia decreciente.

CONCLUSIONES

En esta investigación se ha logrado determinar las cargas admisibles para conexiones empernadas a doble cizallamiento de la especie Pashaco (*Albizzia sp.*), utilizando muestras de espesores de 2cm y 4cm con pernos de conexión de 1/4” y 3/8” respectivamente.

La carga admisible para uniones empernadas a doble cizallamiento, con un espesor de pieza central de 2 cm, es de 145.31 kg para 2 pernos de 1/4” y de 238.34 kg para 2 pernos de 3/8”.

La carga admisible para uniones empernadas a doble cizallamiento, con un espesor de pieza central de 4 cm, es de 377.74 kg para 3 pernos de 1/4” y de 625.08 kg para 3 pernos de 3/8”.

Según los ensayos realizados a la madera Pashaco (*Albizzia sp.)*, los valores de las cargas admisibles de uniones empernadas a doble cizallamiento, mostradas previamente, en algunos casos superan mínimamente las cargas admisibles de uniones empernadas, de las maderas del grupo C de la Norma E010. Se evidenció que, en el primer caso, en la muestra de 2cm de espesor de pieza central con 2 pernos de 1/4", el valor obtenido (145.31 kg) es inferior a la carga admisible del grupo C (150.0 kg). Aunque la madera Pashaco (*Albizzia sp*.) no está clasificada en ninguno de los tres grupos establecidos, investigaciones han determinado un valor de densidad básica de 0.40 g/cm³, y tesis de investigación han reportado un valor de 0.39 g/cm³. Por lo tanto, los valores admisibles de las uniones empernadas a doble cizallamiento obtenidos son esperables, considerando que la madera Pashaco se encuentra en un rango inferior al del grupo C según la norma.

La comparación de los valores obtenidos mediante ensayos y los calculados mediante el manual de diseño del grupo andino nos muestra que los primeros son ligeramente mayores. Esto nos indica que los valores obtenidos en ensayos están dentro de los valores esperados.

El tipo de falla está determinado por la esbeltez del perno. En los ensayos realizados, debido a la baja esbeltez de los pernos, las fallas identificadas se produjeron por aplastamiento. Esto generó un esfuerzo de compresión en el área de contacto con la madera. De esta manera, los ensayos mostraron que las fallas por aplastamiento ocurrieron antes de que los pernos fallaran por corte

En base a los gráficos comparativos, Humedad (%) vs Carga (kg), se puede concluir que existe una relación inversamente proporcional entre ambos valores, por lo que muchos de los resultados de los ensayos realizados a la madera con un contenido de humedad menor, arrojan cargas admisibles más altos comparados con las muestras de mayor contenido de humedad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudios que aborden el comportamiento estructural de la madera Pashaco en uniones empernadas a doble cizallamiento perpendicular o formando ángulos variables respecto a la dirección horizontal o dirección de la fibra, debido a que estas posiciones son de uso común en la construcción de estructuras de madera, tales como, tijerales, columnas, vigas o coberturas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es aconsejable incrementar el tamaño del perno de unión en lugar de aumentar la cantidad de pernos en una única línea de carga. Esta elección se debe a que la distribución de las cargas entre los pernos no se distribuye de manera uniforme. Por otro lado, al aumentar el grosor del perno de conexión, se incrementa el área de contacto entre el perno y la pieza de madera, dando como consecuencia que el esfuerzo admisible aumente.

La madera Pashaco es de las más económicas en el mercado maderero, y en base a las investigaciones realizadas hasta el momento, estas han dado por resultado propiedades físicas con valores aplicables para el diseño de viviendas livianas, por lo que se recomienda seguir las investigaciones de la especie y la promoción de su utilización.

Se recomienda que la modulación de las muestras sea lo más regular posible ya que en el momento de la perforación y colocación de los pernos estas suelen quedar levemente disparejas, por lo que se recurre a las herramientas manuales para que las probetas ensambladas queden totalmente parejas en las superficies de apoyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Forest & Paper Association. (1999). *Commentary National Design Specification for Wood Construction*. American Forest & Paper Association. https://www.plib.org/staging/wp-content/uploads/2020/09/AWC-NDS2018.pdf

Argüelles, R., & Arriaga, F. (2003). *Estructuras de Madera. Diseño y Cálculo*. Asociación de Investigación Técnica de la Madera.

Aróstegui, A., González, V., & Sato, A. (1986). Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque nacional Alexander von Humboldt. *Revista Forestal del Perú, 10(12), 1–87*. http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art1.pdf

Arrué, G. (1969). *Uniones Empernadas de Madera "Tornillo"* [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Corrales, A. (2018). *Uniones Estructurales Clavadas con Madera Pashaco (Albizzia sp.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/16441

Herrera, G. (2016). *Clasificación Estructural de la Madera Pashaco (Albizzia sp.)* [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Importaciones Generales Huachipa S.A.C. (2021). *Catálogo de pernos, elementos de fijación y sujeción*. https://imgehsa.com.pe/catalogo.html

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Participación de la Población en la Actividad Económica*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones _digitales/Est/Lib1676/libro.pdf

Instituto Nacional de Normalización. (1996). NCh300:1997 ISO 1891. https://ecommerce.inn.cl/nch3001997-iso-189141199

Jhosephson, H. (1989). *A History of Forest Research in the Southern United States*. United States Department of Agriculture. https://www.srs.fs. usda.gov/pubs/misc/misc_pub1462.pdf

Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino*. Junta del Acuerdo de Cartagena.

Keenan, F. J., & Tejada, M. (1987). *Maderas Tropicales como Material de Construcción en los Países del Grupo Andino de América del Sur*. http://hdl.handle.net/10625/8403

Lope, J. (2018). *Uniones Empernadas de Madera Cumala con Pernos de 1/4"* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/17624

Menacho, G. (2010). *Uso de Tirafones en Uniones Estructurales con la Especie de Madera Cachimbo - Cariniana Domesticata* [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2018). *Reporte mensual de comercio diciembre 2018*. https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/estadisticas_y_publicaciones/estadisticas/exportaciones/2018/RMC_Diciembre_2018.pdf

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2021). E010 Madera. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366639/49%20E.010%20MADERA%20DS%20N%C2%B0%20005-2014.pdf?v=1677250657

Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva*. https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Datos y cifras globales de productos forestales 2018*. https://www.fao.org/3/ca7415es/CA7415ES.pdf

Paredes, C. (2006). *Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Quinilla Colorada: Manilkara Bidentada* [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Robles, F., & Echenique, R. (1991). *Estructuras de madera*. Editorial Limusa.

Rodd, P., & Leijten, J. (2003). High-performance dowel-type joints for timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials, 5, 77–89*. https://doi.org/10.1002/pse.144

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2016). *Primer Informe Parcial del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/primer-informe-parcial-inventario-nacional-forestal-fauna-silvestre

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR. (2016). *Lineamientos de política de inversión pública en desarrollo forestal 2015-2021*. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/lineamientos-politica-inversion-publica-desarrollo-forestal-2015-2021

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR. (2019). *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2017*. http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/520/1/Anuario Forestal y Fauna Silvestre 2017.pdf

Valenzuela, W. (1979). Valores de diseño en uniones empernadas a doble cizallamiento de siete especies forestales aptas para la construcción. *Revista Forestal del Perú, 9(2), 1–21*. http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol09_no2_79_(13)/vol9_no2_art1.pdf

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Identificación anatómica de muestra de madera..... 139

ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN ANATÓMICA DE MUESTRA DE MADERA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Fundación Para el Desarrollo Agrario
Centro de Producción Forestal

La Molina, 01 de octubre de 2021

Señor
CARLOS BERMUDO GUERRA PERALES

Presente. -

De mi consideración:

En referencia a su comunicación vía correo electrónico de fecha 29 de octubre del año en curso; en la que solicita la Identificación Anatómica de una (01) muestra de madera; tengo a bien adjuntar al presente, el Informe Técnico correspondiente.

Sin otro particular, saludo a usted,

Atentamente,

FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO
CENTRO DE PRODUCCION FORESTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LAB. ANATOMIA DE LA MADERA
FAC. CIENCIAS FORESTALES
LA MOLINA

Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera

Incl. Lo mencionado.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Fundación Para el Desarrollo Agrario
Centro de Producción Forestal

IDENTIFICACIÓN ANATÓMICA DE UNA (01) MUESTRA DE MADERA

INFORME TÉCNICO N° 01-10-2021 CPF/FCF – UNALM

I. DATOS GENERALES

Cliente	**: CARLOS BERMUDO GUERRA PERALES** **Alumno de la Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.** **Código de Matricula: 20070092F.**
Título de tesis	**: "Uniones Estructurales Empernadas de Madera Pashaco (*Albizzia sp.*) con Pernos de 1/4" y 3/8"**
Fecha Recepción de Muestra	**: 29 de setiembre de 2021**
Fecha del Informe	**: 01 de octubre de 2021**
Producto/Muestra	**: Muestra de madera**

II. SERVICIO SOLICITADO

Identificación Anatómica de una (01) muestra de madera con dimensiones 2,5 x 10 x 30 cms (espesor x ancho x largo). El registro interno en laboratorio de la muestra evaluada tiene por código 844.

III. PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

3.1 Objeto:

Determinar la identificación anatómica de una (01) muestra de madera.

3.2 Método:

Para la identificación anatómica se utilizó como referencia la Norma de Procedimientos en estudios de anatomía de la madera. I. Angiospermae. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 1992.

IV. IDENTIFICACIÓN ANATOMICA

La muestra de madera corresponde a:

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Fundación Para el Desarrollo Agrario

Centro de Producción Forestal

Muestra	Clave	Nombre Común	Nombre Científico	Familia
M1	844	Pashaco	*Albizzia sp*	Fabaceae

OBSERVACION: La identificación anatómica solo es válida para la muestra evaluada.

Atentamente,

CENTRO DE PRODUCCION FORESTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LAB. ANATOMIA DE LA MADERA FAC. CIENCIAS FORESTALES LA MOLINA

Ing. Manuel Chavesta Custodio

Lab. Anatomía de la Madera