

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“UNIONES ESTRUCTURALES CLAVADAS CON MADERA
PASHACO (Albizzia sp.)”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ATILIO CORRALES PORRAS

ASESOR

Mg. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA

LIMA- PERÚ

2018

ÍNDICE	PÁGINA
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE GRÁFICOS	12
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1 GENERALIDADES	13
1.2 PROBLEMÁTICA	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	14
2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	15
2.1 ESTADO DEL ARTE.	15
2.2 INVESTIGACIONES SOBRE UNIONES CLAVADAS.	16
2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UNA UNIÓN CLAVADA.	17
2.3.1 DIRECCIÓN DE LA CARGA CON RESPECTO AL GRANO.	17
2.3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA.	18
2.3.3 NÚMERO DE CLAVOS.	18
2.3.4 PLANOS DE CIZALLAMIENTO.	18
2.3.5 DIÁMETRO DEL CLAVO	18
2.3.6 ESPESOR DE LAS PIEZAS.	19
2.3.7 ESPACIAMIENTO DE LOS CLAVOS.	19
2.3.8 DENSIDAD DE LA MADERA.	19
2.4 LA MADERA COMO MATERIAL.	19

2.4.1	ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA.	19
2.4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA.	21
2.4.3	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.	23
2.4.4	PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA MADERA.	26
2.4.5	FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA.	26
3	CAPITULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE PASHACO.	32
3.1	LA ESPECIE PASHACO.	32
3.2	PROCEDENCIA DEL PASHACO EN PERÚ.	32
3.3	DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL EN PIE.	32
3.4	ANATOMÍA DEL PASHACO.	32
3.4.1	DESCRIPCIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA MADERA PASHACO.	32
3.4.2	CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DEL PASHACO.	33
3.4.3	CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DEL PASHACO.	34
3.5	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, UNIONES CLAVADAS Y TIEMPO DE SECADO DEL PASHACO.	34
3.5.1	PROPIEDADES FÍSICAS DEL PASHACO.	34
3.5.2	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PASHACO.	34
3.5.3	UNIONES ESTRUCTURALES DEL PASHACO.	35
3.5.4	SECADO DEL PASHACO.	36
3.6	VOLÚMENES DE LA MADERA PASHACO EN INVENTARIOS FORESTALES.	36
3.6.1	PRODUCCIÓN DE MADERA ROLLIZA Y ASERRADA EN PERÚ DE LA ESPECIE PASHACO POR DEPARTAMENTO.	36
3.7	PRECIO DE LA MADERA PASHACO.	38
4	CAPITULO IV: LOS CLAVOS.	40
4.1	LOS CLAVOS.	40
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS CLAVOS.	40
4.2.1	LOS DIFERENTES VÁSTAGOS.	41
4.2.2	LOS TIPOS DE CABEZAS MÁS USADAS.	41
4.3	RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE LOS CLAVOS.	42
4.4	UNIONES DE EXTRACCIÓN DIRECTA.	42
4.5	UNIONES DE EXTRACCIÓN LATERAL.	43
5	CAPÍTULO V: CRITERIOS PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PORTANTE DE UNIONES CLAVADAS	44

5.1	CRITERIOS PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PORTANTE.	44
5.2	EL MODELO DE JOHANSEN.	44
5.3	REGLAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.	46
5.3.1	JUNAC	46
5.3.2	EL EUROCÓDIGO 5.	47
5.3.3	EL REGLAMENTO CIRSOC 601.	51
5.3.4	LA NORMA NBR 7190 (ABNT 2010)	54
6	CAPÍTULO VI: PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS	57
6.1	MATERIALES.	57
6.2	MÉTODOS.	58
6.3	RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DE LA MADERA DEBIDO AL CLAVO.	58
6.3.1	CÁLCULO DE RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO POR EL CLAVO SOBRE LA MADERA.	59
6.3.2	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE APLASTAMIENTO.	59
6.3.3	EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES.	61
6.4	ENSAYOS Y DETERMINACIONES COMPLEMENTARIAS.	63
6.4.1	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN CLAVOS.	63
6.4.2	RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE CLAVOS.	64
6.4.3	EQUIPO Y CONDICIONES DEL ENSAYO.	65
6.5	UNIONES CLAVADAS.	67
6.5.1	UNIONES CLAVADAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO SIMPLE.	67
6.5.2	UNIONES CLAVADAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO DOBLE.	68
6.6	DISEÑO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE CON CARGA PARALELA AL GRANO.	68
6.6.1	ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS.	73
6.6.2	EQUIPOS, ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS.	77
6.6.3	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO.	77
6.6.4	EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	78
6.7	LVDT	79
6.8	ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS.	80
6.8.1	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 251.010).	80
6.8.2	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA (NTP 251.011).	82
6.9	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.	84
7	CAPÍTULO VII: CÁLCULOS Y RESULTADOS	85
7.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES.	85
7.2	VALORES ADMISIBLES.	85

7.3	JUNAC	87
7.4	EUROCÓDIGO 5.	90
7.5	CIRSOC 601	94
7.6	NBR 7190	97
8	CONCLUSIONES	102
9	RECOMENDACIONES.	103
10	BIBLIOGRAFÍA	104
11	LISTA DE REFERENCIAS.	107
12	ANEXOS	108

RESUMEN

Esta Tesis se elaboró con el propósito de alcanzar un objetivo general: conocer y analizar el comportamiento resistente de las uniones clavadas en madera aserrada de la especie PASHACO (*Albizzia sp*) procedente de la ciudad de Pucallpa, departamento de Ucayali, y de esta forma aumentar la información, difundir e incentivar los posibles usos de esta especie en la industria de la construcción. Como objetivos específicos se propuso poner a disposición del personal que participa en el diseño y construcción con madera de información técnica sobre este tipo de uniones estructurales e incentivar los estudios de investigación técnica de uniones estructurales clavadas con madera.

Para alcanzar este objetivo, se diseñó y ejecutó una investigación empírica sobre 120 ensayos normalizados destinados a conocer el comportamiento mecánico de las uniones clavadas dobles (resistencia en este caso) construidas con la especie investigada, 10 ensayos para determinar la resistencia al aplastamiento del clavo sobre la madera estudiada, 10 ensayos para obtener la resistencia a la extracción de clavos, 3 pruebas estandarizadas para determinar la resistencia a la tracción en clavos de 4 pulgadas con 4.56 mm de diámetro. Todo el programa experimental se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de las Normas peruanas vigentes, para los ensayos destinados a conocer las propiedades físicas de la madera tales como el contenido de humedad y la densidad básica y Normas americanas, argentinas, brasileñas y europeas para las propiedades mecánicas.

Todos los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio Nro. 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI excepto los ensayos de resistencia a la tracción sobre clavos de 4 pulgadas con 4.56 mm de diámetro que se llevaron a cabo en el Laboratorio Nro. 12 de la Facultad de Ciencias (LABICER).

Se compararon las cargas admisibles obtenidas con los resultados propuestos por los modelos teóricos de los documentos normativos de Perú (JUNAC), europeo (Eurocódigo 5), argentino (CIRSOC 601) y brasileño (NBR 7190), con las obtenidas en base a los resultados experimentales y los factores de seguridad propuestos por la Norma E.010 del RNE para el tipo de falla observado, obteniéndose de forma general un 93%.

ABSTRACT

This thesis was developed with the purpose of achieving a general objective: to know and analyze the strength of nailed joints in sawn wood of the species PASHACO (*Albizia* sp) from the city of Pucallpa, department of Ucayali, and in this way disseminate and encourage the possible uses of this species in the construction industry. As specific objectives, it was proposed to make available to personnel involved in the design and construction with technical information wood on this type of structural joints and to encourage technical research studies of nails in structural joints with wood.

To achieve this objective, empirical research was designed and executed on 120 standardized tests designed to know the mechanical behavior of the double nailed joints (resistance in this case) built with the species under investigation, 10 tests to determine the crush resistance of the nail on the studied mother, 10 tests to obtain the resistance to the extraction of nails, 3 standardized tests to determine the tensile strength in 4-inch nails with 4.56 mm diameter. The whole experimental program was carried out following the guidelines of: Peruvian norms, for the tests destined to know the physical properties of the wood such as the moisture content and the basic density and American, Argentine, Brazilian and European standards for the properties mechanical.

All the tests were carried out in the Laboratory No. 1 of Materials Test of the Faculty of Civil Engineering of the UNI except the tests of resistance to the traction on nails of 4 inches with 4.56 mm of diameter that was carried out in the Laboratory No. 12 of the Faculty of Sciences (LABICER).

The results obtained through experimental tests on nailed joints subjected to double shear parallel to the fibers were compared with the results proposed by the theoretical models of the normative documents of Peru (JUNAC), European (Eurocode 5), Argentine (CIRSOC) and Brazilian (NBR 7190).

The admissible loads obtained by the theoretical models of the normative documents of Peru (JUNAC), European (Eurocode 5), Argentine (CIRSOC 601) and Brazilian (NBR 7190), were compared with the results obtained based on the results experimental and safety factors proposed by the E.010 Standard of RNE for the type of failure observed, obtaining a general 93%.

PRÓLOGO

El uso de la madera en la construcción en el Perú es limitado por diversas razones, entre ellas la poca información sobre sus características y aplicaciones a nivel de la población y también a nivel de los profesionales de la construcción.

La Norma actual sobre Diseño y construcción con madera considera especies con densidades mayores de 0.40 g/cm³ para uso estructural, sin embargo en los bosques existen especies con densidades menores que podrían utilizarse para edificaciones de menor exigencia estructural.

De acuerdo a ello, en los últimos años se ha venido estudiando varias de estas especies para conocer sus características mecánicas, de acuerdo a la metodología propuesta por la Norma para la incorporación de nuevas especies, cuyos resultados podrían servir de base para proponer un nuevo grupo estructural en la clasificación existente en la Norma vigente.

Sin embargo, se considera que estos estudios no son suficientes porque se requiere complementarlo con información sobre uniones estructurales para el diseño, razón por la cual se ha desarrollado el presente trabajo sobre uniones estructurales clavadas con madera Pashaco, que es una de las especies estudiadas para su incorporación en el nuevo grupo estructural de la Norma vigente.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PARTES DEL TRONCO, CORTE TRANSVERSAL.	20
FIGURA 2: ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LAS MADERAS LATIFOLIADAS.	21
FIGURA 4: DIRECCIONES ORTOGONALES DE LA MADERA.	24
FIGURA 5: DEFECTOS EN LA MADERA.	28
FIGURA 6: CURVA DE MADISON.	29
FIGURA 7: DEGRADACIÓN DE LA MADERA.	31
FIGURA 8: CARACTERÍSTICAS DE IDENTIFICACIÓN MACROSCÓPICA.	33
FIGURA 9: COMPRA DE TABLONES DE LA ESPECIE PASHACO.	39
FIGURA 10: MODOS DE ROTURA POSIBLES EN UNA UNIÓN CLAVADA SEGÚN EL MODELO DE JOHANSEN.	45
FIGURA 11: CAPACIDAD PORTANTE PARA CADA MODO DE ROTURA SEGÚN EL MODELO DE JOHANSEN.	45
FIGURA 12: SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LAS REGLAS EUROPEAS PARA INDICAR EL ESPACIAMIENTO.	50
FIGURA 13: UNIONES CLAVADAS EN CORTE SIMPLE Y DOBLE.	55
FIGURA 14: DISPOSITIVO DE ENSAYO PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DEBIDO AL CLAVO.	59
FIGURA 15: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN MM.	60
FIGURA 16: PROBETAS LISTAS PARA EL ENSAYO DE APLASTAMIENTO.	61
FIGURA 17: ENSAYO DE APLASTAMIENTO.	62
FIGURA 18: ENSAYO A LA TRACCIÓN DE CLAVOS.	64
FIGURA 19: PROBETA LISTA PARA EL ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE CLAVOS.	65
FIGURA 20: ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE CLAVOS.	65
FIGURA 21: MÁQUINA UNIVERSAL NRO. 3, MARCA ZWICK ROELL DEL LEM-UNI CON CAPACIDAD DE 100 TON.	66
FIGURA 22: UNIONES CLAVADAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO SIMPLE.	67
FIGURA 23: UNIONES CLAVADAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO DOBLE.	68
FIGURA 24: ESPACIAMIENTOS SEGÚN LA JUNAC.	69
FIGURA 25: PROBETAS CON 4 CLAVOS, 2 EN CADA LADO.	70
FIGURA 26: PROBETAS CON 6 CLAVOS, 4 EN UN LADO Y 2 EN EL OTRO.	71
FIGURA 27: PROBETAS CON 8 CLAVOS, 4 EN UN LADO Y 4 EN EL OTRO.	72
FIGURA 28: ELECCIÓN DE LOS TABLONES EN LAS MEJORES CONDICIONES.	73
FIGURA 29: VERIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LOS TABLONES.	73
FIGURA 30: CORTE DE TABLONES PARA PODER TRANSPORTARLOS.	74
FIGURA 31: CORTE EN MEDIDAS ESPECIFICADAS POR EL TESISISTA.	74

FIGURA 32: MARCADO DE LA UBICACIÓN DE LOS CLAVOS.	75
FIGURA 33: PRETALADRADO CON BROCA DE DIÁMETRO 0.8D.	75
FIGURA 34: CLAVADO DE LAS UNIONES DOBLES.	76
FIGURA 35: UNIONES DOBLES LISTAS PARA SER ENSAYADAS.	76
FIGURA 36: PROBETAS LISTAS PARA SER INSTALADA EN LA MÁQUINA DE ENSAYO.	77
FIGURA 37: MÁQUINA UNIVERSAL AMSLER CON CAPACIDAD PARA 50 TON.	78
FIGURA 38: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PXI/SCXI.	79
FIGURA 39: LVDT MARCA OMEGA, MODELO LD320-50.	79
FIGURA 40: CÁLCULO DEL PESO SECO.	81
FIGURA 41: ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD.	83
FIGURA 42: ENSAYO DE DENSIDAD.	83

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL PASHACO.	34
TABLA 2: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PASHACO.	35
TABLA 3: VALORES DE RESISTENCIA EN UNIONES CLAVADAS CON MADERA PASHACO.....	36
TABLA 4: TIEMPO DE SECADO DEL PASHACO.	36
TABLA 5: PRODUCCIÓN DEL PASHACO EN EL 2012.....	37
TABLA 6: PRODUCCIÓN DEL PASHACO EN EL 2013.....	37
TABLA 7: PRODUCCIÓN DEL PASHACO EN EL 2014.....	37
TABLA 8: PRECIO DEL PASHACO AL 2016.	38
TABLA 9: PRECIO DEL PASHACO AL 2009.	38
TABLA 10: CAPACIDAD PORTANTE PARA CADA MODO DE ROTURA SEGÚN EL EUROCÓDIGO 5...47	
TABLA 11: ESPACIAMIENTO MÍNIMO RECOMENDADO POR LAS REGLAS EUROPEAS PARA UNIONES CLAVADAS.	51
TABLA 12: CAPACIDAD PORTANTE PARA CADA MODO DE ROTURA SEGÚN EL CIRSOC 60152	
TABLA 13: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO DE APLASTAMIENTO.60	
TABLA 14: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN63	
TABLA 15: RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LA RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN.67	
TABLA 16: ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS PARA SIMPLE CIZALLAMIENTO CON PRE TALADRADO O DOBLE CIZALLAMIENTO SIMÉTRICO.	69
TABLA 17: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS.	69
TABLA 18: VALORES PROMEDIO, CARACTERÍSTICOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS DATOS EXPERIMENTALES PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38MM Y ROTURA.....	85
TABLA 19: CARGAS ADMISIBLES PROMEDIO, CARACTERÍSTICOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS DATOS EXPERIMENTALES PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38MM Y ROTURA.	85
TABLA 20: LA SIGUIENTE TABLA MUESTRA LOS VALORES ADMISIBLES PARA UN CLAVO EN CIZALLAMIENTO SIMPLE Y PARA UNA DEFORMACIÓN DE 0.38MM OBTENIDAS DE PROBETAS CON 4, 6, Y 8 CLAVOS, TAMBIÉN SE MUESTRA EL VALOR PROMEDIO.....	86
TABLA 21: CARGAS ADMISIBLES PROMEDIO, CARACTERÍSTICOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS DATOS EXPERIMENTALES PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38MM Y ROTURA.	86
TABLA 22: LA SIGUIENTE TABLA MUESTRA LAS CARGAS ÚLTIMAS PARA UN CLAVO EN CIZALLAMIENTO SIMPLE OBTENIDAS DE PROBETAS CON 4, 6, Y 8 CLAVOS, TAMBIÉN SE MUESTRA EL VALOR PROMEDIO.	87
TABLA 23: FACTORES DE REDUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CARGAS ADMISIBLES.	88
TABLA 24: CARGAS ADMISIBLES PARA LA CONDICIÓN DE SERVICIO (DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38MM) PARA UN CLAVO SOMETIDO A SIMPLE CIZALLAMIENTO SEGÚN LA JUNAC.....	89
TABLA 25: CARGAS ÚLTIMAS PARA UN CLAVO SOMETIDO A SIMPLE CIZALLAMIENTO SEGÚN LA JUNAC.	89

TABLA 26: COMPARACIÓN DE CARGAS ADMISIBLES PARA UN CLAVO EN SIMPLE CIZALLAMIENTO EXPERIMENTALES Y SEGÚN LA JUNAC PARA UNA DEFORMACIÓN IGUALA 0.38MM.	90
TABLA 27: COMPARACIÓN DE CARGAS ÚLTIMAS PARA UN CLAVO EN SIMPLE CIZALLAMIENTO EXPERIMENTALES Y SEGÚN LA JUNAC EN CONDICIONES DE ROTURA.....	90
TABLA 28: CLASE DE DURACIÓN DE LAS CARGAS.	93
TABLA 29: COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA EL MATERIAL, γM	93
TABLA 30: VALORES DEL FACTOR KMOD.	93
TABLA 31: CARGAS ADMISIBLES PARA UN CLAVO SOMETIDO A SIMPLE CIZALLAMIENTO SEGÚN EL EUROCÓDIGO 5.....	94
TABLA 32: FACTOR DE DURACIÓN DE LA CARGA.	96
TABLA 33: FACTOR DE CONDICIÓN DE SERVICIO.....	96
TABLA 34: FACTOR DE TEMPERATURA.	96
TABLA 35: CARGAS ADMISIBLES PARA UN CLAVO SOMETIDO A SIMPLE CIZALLAMIENTO SEGÚN EL CIRSOC 601.	97
TABLA 36: KMOD1.....	99
TABLA 37: KMOD2.....	99
TABLA 38: CARGAS ADMISIBLES PARA UN CLAVO SOMETIDO A SIMPLE CIZALLAMIENTO SEGÚN LA NBR 1791.	100
TABLA 39: CUADRO RESUMEN DE CARGAS ADMISIBLES PARA UN CLAVO EN CIZALLAMIENTO SIMPLE.	100
TABLA 40: COMPARACIÓN PORCENTUAL ENTRE LAS CARGAS EN SERVICIO PROMEDIO OBTENIDAS CON LAS DIFERENTES REGLAS DE DISEÑO CON RESPECTO A LAS CARGAS ADMISIBLES EXPERIMENTALES.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: COMPARACIÓN DE CARGAS ADMISIBLES POR CLAVO EN CIZALLAMIENTO SIMPLE DE ESPECIES QUE TIENEN APROXIMADAMENTE LA MISMA DENSIDAD BÁSICA QUE EL PASHACO.

..... 101

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Cuando se construye con madera, una de las mayores dificultades se presenta en el diseño y fabricación de las uniones estructurales.

La capacidad de carga de las uniones estructurales está gobernada por la resistencia de la madera, del elemento de unión o por una combinación de ambos. Independientemente del tipo de unión, existen otros factores que afectan en general a todos ellos.

De lo mencionado anteriormente es de gran importancia contar con estudios técnicos e información que sirvan de base para incentivar la formulación de normas, guías, y manuales sobre uniones estructurales en madera, para lograr una eficiente solución en ingeniería de la construcción.

El Bach. Ing. Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Gabriel Fernando Herrera Ñañez, en su Tesis "Clasificación Estructural de la Madera Pashaco (*Albizzia sp.*)" concluye que la especie Pashaco no pertenece a ninguno de los tres grupos estructurales, por lo que propone crear un nuevo grupo conformado por éstas nuevas especies, motivo por el cual es necesario complementar la investigación mencionada con la investigación de uniones estructurales con madera de la misma especie. (Ref.1, pág. 10)

"Al construir con madera se tiene que asumir el reto de solucionar bien las uniones, si se desea conferir calidad, durabilidad y rentabilidad. En el diseño estructural la concepción de tales uniones está enteramente ligada al elemento de unión utilizado". (Ref.10, pág. 24)

"El análisis de las uniones estructurales es un aspecto prioritario en el diseño con madera. Así se tiene que una unión débil puede convertir una estructura en ineficaz o insegura, y que el comportamiento de ésta será inadecuado si las uniones no resisten lo necesario para que los elementos unidos puedan desarrollar su capacidad de carga en servicio". (Ref.10, pág. 24)

Al unir piezas de madera entre sí, se dispone de diferentes alternativas de medios de unión, entre los cuales los clavos figuran como el medio más fácil y conveniente. Tradicionalmente en el Perú se preparan uniones con clavos de caña lisa.

Si se tiene en cuenta la abundancia de especies secundarias con buenas características técnicas pero limitadas aplicaciones, resulta conveniente promover a maderas como las Fabaceae, que es la familia a la cual pertenece el Pashaco, las cuales representan una oportunidad de vanguardia dentro de la actual política mundial de aprovechamiento de maderas tropicales.

1.2 PROBLEMÁTICA

El reducido número de especies forestales que utiliza la industria de transformación de la madera es causado en parte por la poca importancia que se ha venido brindando a estudios de investigación para conocer las características tecnológicas de nuevas especies, que podrían sustituir a las tradicionales, las mismas que por su excesiva tala se encuentran en peligro de extinción.

Por otro lado, la extracción selectiva de maderas está ocasionando escasez de materia prima valiosa y carestía de productos derivados, quedando cada vez más fuera del alcance de los usuarios de bajos recursos económicos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

El objetivo fundamental del presente trabajo es determinar los usos probables de la especie Pashaco en la industria de la construcción, para ello el presente estudio permitirá aumentar la información y analizar el comportamiento de las uniones estructurales clavadas con dicha especie.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Poner a disposición del personal que participa en el diseño y construcción con madera de información técnica sobre este tipo de uniones estructurales.

Incentivar los estudios de investigación técnicas de los clavos en uniones estructurales con madera.

2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE.

Es necesario estudiar con detalle las uniones estructurales que conforman una edificación ya que estas constituyen los puntos débiles de una estructura. Para ello se hace indispensable conocer las propiedades físico mecánicas de los materiales que conforman dicha unión, en este caso la madera y el clavo. Al ser la madera un material anisótropo, el estudio del diseño de las uniones se hace complicado pues sus propiedades resistentes varían con la dirección que se desea analizar.

Antiguamente las uniones clavadas las hacían los carpinteros de oficio y por tal razón se ignoraba la capacidad de carga que podía soportar la unión. No era necesario el uso de muchos accesorios, a diferencia de las uniones mecánicas modernas y por lo tanto estéticamente lucían mejor, pero ahora ya no se les da mucho uso. Las hipótesis asumidas para el cálculo han sido en general simples pero suficientemente avaladas por la experiencia. En su diseño y cálculo ocupa un lugar preponderante la comprobación de las tensiones generadas entre las piezas enlazadas. (Ref.2, pág.14)

El avance en la tecnología de los elementos auxiliares y el interés por conocer el comportamiento de las uniones propició una transformación en la construcción de estructuras de madera. En las uniones clavadas modernas las piezas son unidas por dispositivos metálicos, lo que implica que otro material entra en juego para colaborar con la transmisión de los esfuerzos actuantes, aportando una mejora en forma sustancial a la eficiencia de las uniones tradicionales. Resulta imposible sostener a priori que un tipo de unión es el mejor para una determinada estructura sin llevar a cabo un análisis global de la problemática. Pero en general, se puede decir que cuanto más simple es la solución y menor la cantidad de elementos de fijación, mejor será la solución total. (Ref.2, pág.15)

A nivel internacional y también en Perú las uniones clavadas, en las cuales la distribución de esfuerzos implican el comportamiento en flexión del clavo y la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a las fibras de la madera, así como el comportamiento al corte de la madera, son las más importantes. Hay otros tipos de conexiones mecánicas empleados en estructuras, tales como las uniones construidas con anillos, placas de corte, placas dentadas o perforadas,

entre otras, las cuales generalmente involucran una superficie importante de madera en la transmisión de los esfuerzos. (Ref.2, pág.15)

“En las últimas décadas se han desarrollado nuevos modelos basados en el proceso de encolado. Dentro de estos últimos se incluyen las uniones dentadas de tamaño especial (large finger joints) y las construidas con bulones o varillas roscadas insertas en la madera y vinculadas con adhesivos (glued-in bolts). Este nuevo tipo de conexiones provee una gran capacidad para transmitir esfuerzos en espacios reducidos, exhibe una elevada rigidez y es especialmente apto para resistir cargas de fuego, ya que la madera protege a los elementos de acero insertos en ella. Han sido empleadas en el norte y centro de Europa con éxito para conectar miembros estructurales, dar continuidad a las esquinas de pórticos y vincular la estructura con las fundaciones”. (Ref.2, pág.15)

En las uniones clavadas de las cuales se ocupa este trabajo de tesis, el eje del elemento atraviesa transversalmente las piezas a unir impidiendo su separación. Su comportamiento mecánico está relacionado con el número de secciones solicitadas a corte, con las propiedades y dimensiones de la madera y de los clavos, así como con la configuración geométrica adoptada. Los métodos de cálculo adoptados por las reglas de diseño están basados primordialmente en el estudio de conexiones con una o dos secciones de corte, y en este último caso con una disposición simétrica. No obstante, es posible construir conexiones con más de dos secciones de corte y aplicar las reglas de diseño para determinar su capacidad portante. (Ref.2, pág.16)

2.2 INVESTIGACIONES SOBRE UNIONES CLAVADAS.

Según el Centro de Documentación e Información Forestal (CEDINFOR), las investigaciones sobre uniones clavadas han sido extensas en varios países desde los años 50, pero debido a las distintas prácticas constructivas, a las diferencias entre tipos de clavos y especies madereras en cada uno de ellos, las uniones clavadas también difieren. El uso de los clavos por ser los más simples para unir maderas, inicia aproximadamente en el siglo XVI de forma empírica. Sin embargo en estos últimos años la técnica de uniones clavadas se ha desarrollado particularmente en Europa y en Estados Unidos.

Se ha contribuido mucho con el estudio de las uniones estructurales. Según Scholten, quien experimentó con clavos de caña lisa que la resistencia a la extracción aumenta con la gravedad específica de la madera, comprobando que

un incremento de un 25% de gravedad específica es acompañado de un 75% de incremento de resistencia. Sobre el mismo acápite, se realizaron estudios sobre “Quinilla Colorada” y se observó que durante las pruebas de carga lateral la extracción de clavos comienza a partir del momento en que la carga pasa el límite de proporcionalidad. Se aportó mucho al conocimiento de las construcciones de madera y se considera a la estructura clavada como económica, versátil, resistente y elástica, pudiendo soportar cargas estáticas como dinámicas y adaptarse tanto a estructuras provisionarias o definitivas. (Ref.2, pág. 15)

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

Las uniones clavadas más eficaces son las que aprovechan la capacidad para transmitir fuerza lateral, y que este tipo de uniones son sencillas y económicas, siendo usadas con preferencia en estructuras ligeras en las que el grosor de las piezas por unir es inferior a unos 5 cm. (CEDINFOR)

PADT-REFORT recomienda el uso de uniones clavadas en estructuras de viviendas u otras edificaciones pequeñas, construidas a base de entramados, pues resultan ser generalmente las más económicas.

2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UNA UNIÓN CLAVADA.

2.3.1 Dirección de la carga con respecto al grano.

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene una influencia bien marcada en el comportamiento de los elementos estructurales. La inclinación de la fibra puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la inclinación longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado presentan grano inclinado. (Ref.3, pág.1-27)

2.3.2 Contenido de humedad de la madera.

La principal circunstancia que se debe tener en cuenta respecto al contenido de humedad en la madera estructural es que, en general, cuanto mayor sea dicho contenido menor es la resistencia y mayores son las deformaciones que se producen por fluencia. En una unión clavada la diferencia en su resistencia no es de importancia siempre que el contenido de humedad se mantenga durante el tiempo de servicio de dicha unión. (Ref.4, pág. 20) Por otro lado, las variaciones de humedad en la madera también producen ciertas variaciones dimensionales. Es la propiedad más importante, pues, para una misma especie de madera, su valor influye sobre todas las demás propiedades físicas o mecánicas, en su estabilidad dimensional y resistencia frente al ataque de seres vivos.

2.3.3 Número de clavos.

Con respecto a esta variable han aparecido muchos criterios, pero últimamente algunos estudios muestran que hay una relación lineal de resistencia para uniones con hasta 20 clavos (CEDINFOR). Se sabe que las uniones clavadas se reservan para solicitaciones relativamente bajas por lo que se puede concluir que su límite de utilización está determinado por el requerimiento de un número excesivo de clavos, lo cual es incompatible con el tamaño de la unión. Según la Norma E. 010 para cargas admisibles de uniones clavadas sometidas a cizallamiento se deberá considerar para el diseño que la carga admisible es directamente proporcional al número de clavos.

2.3.4 Planos de Cizallamiento.

Uniones de simple cizallamiento puede afectarse una constante de 1.0 en resistencia y que en el caso de uniones dobles esta será igual al valor de la resistencia simple afectado por una constante de 1.8. (Ref.3, pág.12-5)

2.3.5 Diámetro del Clavo

Lo primero que hay que tener en cuenta es la fuerza de retención. El clavo asegura la adherencia gracias al rozamiento; por tanto, un clavo largo y de mayor diámetro tendrá mayor retención que uno pequeño y de menor diámetro. “La característica del clavo que mayor incidencia tiene sobre la resistencia de la unión es su diámetro y él aparece en las distintas fórmulas que los diferentes países han establecido para determinar la resistencia a la extracción lateral de una unión clavada. Es la variable de la cual depende el valor del esfuerzo transmitido al elemento leñoso y la deformación de la unión”. (Ref.4, pág. 20)

2.3.6 Espesor de las piezas.

El diámetro del clavo depende de los espesores de las piezas de madera que se van a unir. Muchas investigaciones han establecido que el espesor de los elementos que se unen incide también en la resistencia de la unión clavada. Otros, en cambio, se inclinan por establecer una zona limitada del espesor como influyente en la resistencia total de la unión. (Ref.4, pág. 20)

Además, la distribución de las tensiones transmitidas por un clavo de un diámetro dado a la madera, no depende del espesor de la pieza que constituye la unión.

2.3.7 Espaciamiento de los clavos.

El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (JUNAC) recomienda espaciamientos mínimos que han sido incorporados en la Norma E. 010 del RNE con el objetivo primordial de evitar la rajadura y colocar el mayor número de clavos en la superficie. Los espaciamientos dependen del tamaño y tipo de clavo así como la tendencia del rajado que presenta la madera, variando este último parámetro con muchos factores, por lo que es difícil proporcionar reglas de espaciamiento que sean generalmente aplicables.

2.3.8 Densidad de la madera.

“La resistencia de una unión clavada depende principalmente de la densidad de la especie maderera que constituye la unión y su valor determina el aporte de la madera a la resistencia de la unión clavada”. (Ref.4, pág. 20)

2.4 LA MADERA COMO MATERIAL.

2.4.1 Estructura anatómica de la madera.

La madera es un material natural no homogéneo, que está constituido por células especializadas en conducción (tejido vascular), almacenamiento (tejido parenquimático), y resistencia (tejido fibroso); por lo tanto, tendrá un comportamiento desigual según la dirección que se esté analizando: paralela o perpendicular a las fibras. Si se hace una aproximación sucesiva, podemos observar:

Estructura macroscópica.

En un corte transversal en un tronco se puede distinguir lo siguiente:

La **corteza externa** de células muertas, la **corteza interna o líber**, con circulación de savia descendente, el **cambium**, a partir del cual crece la corteza y el **xilema, el leño(madera)**, con la **albura** más exterior con savia ascendente, y el **duramen** más interior, hasta la **médula** central. (Ref.3, pág. 1-8)

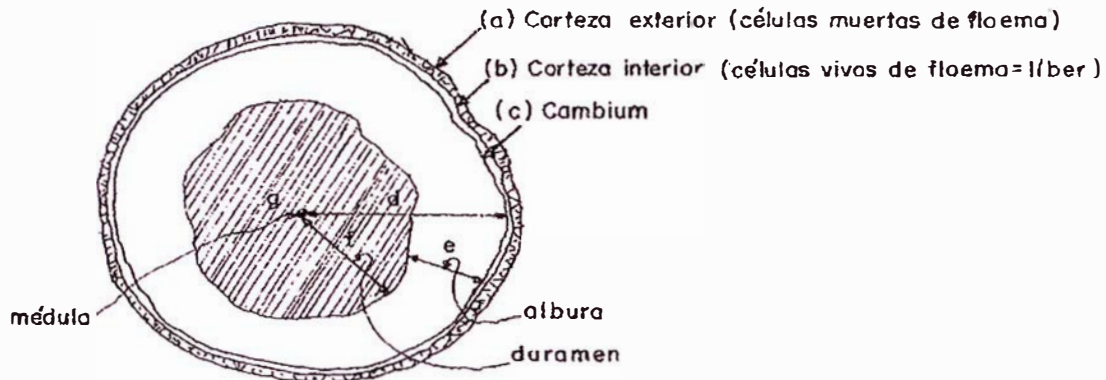


Figura 1: Partes del tronco, corte transversal.
Fuente: Manual de Diseño para maderas del grupo Andino.

Estructura microscópica.

Según la estructura celular las especies maderables se dividen en dos grandes grupos: las maderas **latifoliadas** y las maderas **coníferas** (Ref.3, pág. 1-10). Aquí se trata los diferentes tipos y características de las células que forman estos tejidos.

Maderas Latifoliadas. “La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, constituida por diferentes células leñosas, tales como: los vasos o poros que tienen la función de conducción del agua y sales minerales. Estas células forman del 6 al 50 por ciento del volumen total de la madera, siendo este porcentaje mayor en las maderas blandas y porosas. También existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica y que forman el 50 por ciento o más del volumen de la madera; a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y por tanto mayor resistencia mecánica. Asimismo se observan células de parénquima que tienen la función de almacenamiento de sustancias de reserva y forman un tejido leñoso blando; en muchas especies tropicales superan el 50 por ciento del volumen total.” (Ref.3, pág.1-13)

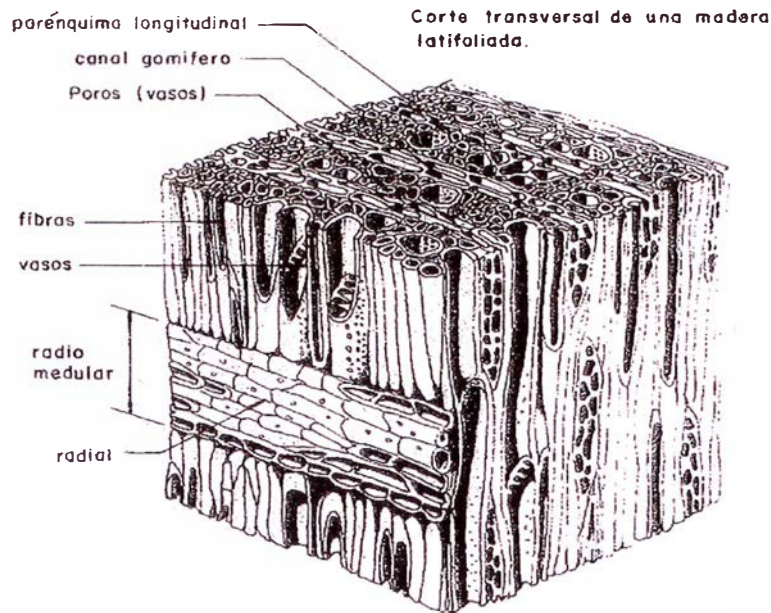


Figura 2: Estructura microscópica de las maderas latifoliadas.
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

Composición química de la madera.

La madera está constituida por los siguientes elementos: Carbono (C) 49 por ciento; Hidrógeno (H) 6 por ciento; Oxígeno (O) 44 por ciento; Nitrógeno (N) y minerales 1 por ciento. La combinación de estos elementos forma los siguientes componentes de la madera: Celulosa (40% - 60%), Hemicelulosa (5% - 25%) y la Lignina (20% - 40%). (Ref.3, 1-15)

2.4.2 Características físicas de la madera.

Contenido de Humedad.

Se puede distinguir entre el agua de constitución, impregnación y libre, según el agua forme parte del material, se ubique en las paredes de las células o dentro de ellas, saturándolas. La madera mantendrá un equilibrio dinámico con el medio ambiente que le rodea (%H relativa y °C), intercambiando vapor de agua con la atmósfera, variando el agua de impregnación de la propia madera hasta llegar a un equilibrio higrotérmico. (Ref.3, pág. 1-15)

Véanse algunos porcentajes de humedad de la madera:

Madera recién cortada: 50 - 110% H, Madera secado natural: 16 - 20% H, Madera secado artificial en cámara: 10 - 15% H, Madera anhidra: 0% H.

Si se elimina el agua de constitución totalmente, se produciría la destrucción del material. El agua de impregnación influye en la resistencia mecánica, ya que a menor %H mayor resistencia, aunque con una tenacidad menor. Si se aumenta la cantidad de agua, quedando libre hasta saturar la pieza, ya no influirá en sus capacidades mecánicas, a partir de ese punto. (Ref.3, pág. 1-15)

Los cambios en la humedad, si hacen, sin embargo, variar las dimensiones de la madera en movimientos de “hinchazón y merma”, que tienen lugar sólo cuando el contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (es decir, antes de la presencia de agua libre en el interior de las células). Se produce hinchazón al aumentar el % H y merma al disminuir la cantidad de agua entre las células. (Ref.3, pág. 1-15)

- La variación dimensional es máxima en la dirección tangencial.
- Es de un 50-60% de la tangencial en la dirección radial.
- Y de un 2-4% de la tangencial en la dirección longitudinal.

El coeficiente de contracción lineal expresa el porcentaje de los cambios de las dimensiones en la dirección indicada para una variación de 1% del contenido de humedad higroscópica en la madera. Se aprecia que longitudinalmente los movimientos son casi inexistentes. En cambio la diferencia entre las variaciones dimensionales tangencial y radial es la causa de deformaciones y movimientos diferenciales de la madera durante el secado.

La contracción volumétrica total, llamada C_v , da la variación de volumen de la pieza.

Densidad de la Madera.

La densidad real de las paredes celulares es constante para todas las especies, siendo de 1560 Kg/m³. Por ello, la diferencia de densidades aparentes de las diversas especies es debida a una mayor o menor proporción de poros interiores. (Ref.3, pág. 1-19)

La humedad también influye en la densidad. El incremento de agua libre en el interior de las células aumenta lógicamente el peso. Por ello las densidades se toman como referencia al 12% de humedad de la madera.

Se pueden distinguir cuatro densidades para una misma muestra de madera.

La densidad verde (DV) la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).

La densidad seca al aire (DSA) la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA)

La densidad anhidra, (DA) la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH).

La densidad básica (DB) la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de las cuatro.

La densidad básica es la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada. (Ref.3, pág.1-19)

2.4.3 Propiedades mecánicas de la madera.

Material Anisótropo.

Del anterior análisis de la "estructura" de la madera, se desprende que las propiedades mecánicas del material dependerán de la orientación de sus fibras en relación a la dirección del esfuerzo considerado. Por su estructura tubular longitudinal, es clara la diferente respuesta frente a los esfuerzos paralelos o perpendiculares a las fibras. También la diferencia de espesor de la pared celular entre la madera de primavera o la de verano (delgada - gruesa) y la existencia de los radios leñosos, justifica las diferencias entre los comportamientos de los cortes tangenciales y radiales de la madera. La madera es por lo tanto un material claramente anisótropo.

Material Ortótropo.

Por su condición de anisótropo, el material se estudia considerando las tres direcciones principales, las cuales presentan 3 planos de simetría elástica perpendiculares entre sí. Estas tres direcciones se deducen de la descrita constitución anatómica de la madera: haz de tubos longitudinales y conjunto de fibras radiales (radios leñosos) que atan transversalmente las fibras longitudinales. Y responde a los tres cortes diferenciados:

-**Transversal** (perpendicular a la dirección longitudinal o axial)

-**Radial** (perpendicular al anterior y pasando por el eje)

-Tangencial (perpendicular a los 2 anteriores)

El árbol produce una estructura tubular hueca que tiene una elevada eficacia para resistir los esfuerzos a los que va estar sometido durante su vida:

- esfuerzos de flexión debidos al viento
- esfuerzos de compresión por su propio peso

Entonces debido a su ortotropía se han de diferenciar como mínimo 2 de sus tres direcciones principales: la paralela y la perpendicular a la fibra.

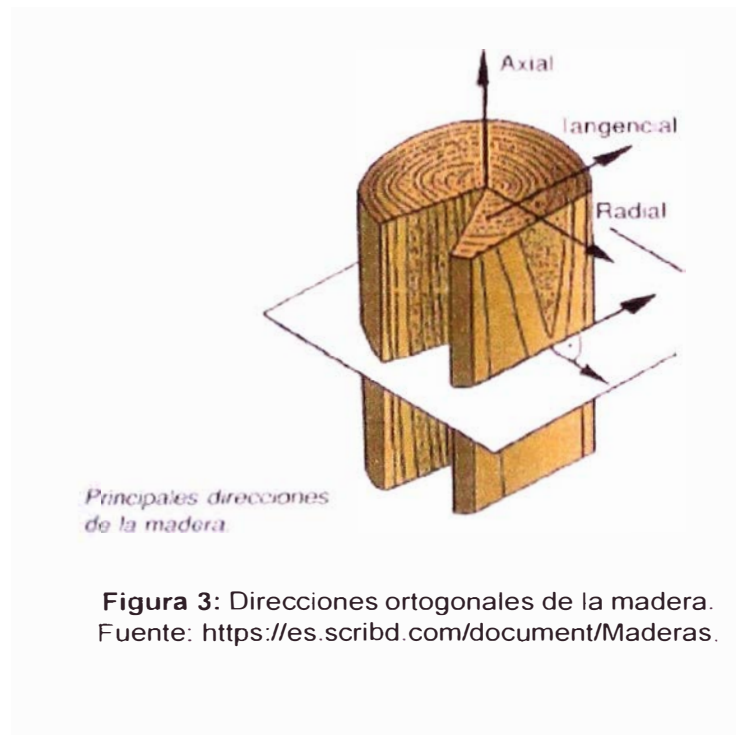


Figura 3: Direcciones ortogonales de la madera.
Fuente: <https://es.scribd.com/document/Maderas>.

Tracción paralela.

Si se ensayan probetas pequeñas y libres de defectos a tracción paralela se nota que la resistencia es el doble de la resistencia a la compresion. En tracción paralela el esfuerzo de rotura varía entre 49 N/mm² y 147 N/mm². También se puede advertir que la resistencia a la tracción de la madera depende de la inclinación de la fibra. (Ref.3, pág.1-22)

Compresión paralela.

Solamente desarrollan toda su resistencia las columnas a escala natural que tienen una relación de esbeltez menor que 10; para columnas más esbeltas la resistencia dependerá de su capacidad para resistir el pandeo lateral. La resistencia a la tracción es aproximadamente el doble de la resistencia a la

compresión. Ensayos sobre probetas de laboratorio de maderas tropicales arrojaron valores que varían entre de 9.81 MPa y 88.3 MPa para valores de densidad básica que varían entre 0.2 y 0.8. El esfuerzo en el límite proporcional es el 75% del esfuerzo máximo y la deformación es 0.6 veces la máxima deformación aproximadamente. (Ref.3, pág.1-22)

Flexión.

Si se ensayan probetas pequeñas y libres de defectos en flexión se nota que los valores promedio de la resistencia dependen del contenido de humedad y la densidad de la especie maderable y que varían entre 19.6 MPa y 166.7 MPa. La carga en el límite proporcional es aproximadamente 0.6 veces el valor de la máxima cara. (Ref.3, pág.1-24)

Tracción perpendicular.

El valor característico de la resistencia a tracción perpendicular en la madera conífera es muy bajo, de 0,4 a 0,6 N/mm². Esto se debe a las escasas fibras perpendiculares al eje (radios leñosos) y la consiguiente falta de trabazón transversal de las fibras longitudinales. De hecho, el árbol tiene pocas solicitaciones en este sentido. Es importante la consideración de la tracción transversal en las piezas estructurales curvas. Para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendicular es nula. (Ref.3, pág.1-22)

Compresión perpendicular.

La "resistencia" está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre 0.20 a 0.25 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela. La fórmula de Hankinson se utiliza para obtener los valores de la resistencia cuando las fibras reciben carga a un ángulo intermedio entre 0 y 90 grados. (Ref.3, pág.1-22)

Resistencia al corte.

Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en las direcciones paralela y perpendicular a la fibra. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del "cementante" de las fibras (la Lignina) a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela. El esfuerzo de

rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 25 y 200 kg/m² en promedio. Es mayor en la dirección radial que en la tangencial. Aumenta con la densidad, aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión. En elementos a escala natural hay una disminución por la presencia de defectos como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros lo que puede resultar en menores valores. . (Ref.3, pág.1-23)

2.4.4 Propiedades elásticas de la madera.

El módulo de elasticidad (E), el módulo de corte o de rigidez (G) y el módulo de Poisson representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo lo que permite considerar sólo tres. En la práctica se utiliza en flexión un valor aparente (intermedio entre ambos) entre 7,000 y 12,000 N/mm², de E medio, según la calidad de la madera. Si se trata de una sollicitación perpendicular a la fibra, se toma aproximadamente $E / 30$, en relación al longitudinal. (230 a 450 N/mm²) El módulo de elasticidad transversal G, es aproximadamente igual a $E/16$. (Ref.3, pág.1-26)

2.4.5 Factores que afectan el comportamiento de la madera.

Variaciones de la temperatura.

Las propiedades mecánicas de la madera varían en forma inversamente proporcional con la temperatura. La madera soporta bien los cambios de temperatura siempre y cuando sean lentos y progresivos, ya que de no ser así, podrían originar rajaduras o grietas originando vías de entrada de humedad y favoreciendo la aparición de hongos e insectos xilófagos. (Ref.3, pág.1-30)

Daños producidos por insectos xilófagos.

Los hongos xilófagos constituyen los agentes bióticos más comunes en las maderas de edificación afectadas por degradación. Estos, pudren la madera en su fase de larva, mientras dura su desarrollo y crecimiento, afectan seriamente su resistencia mecánica y habitualmente, cuando llegan a su edad de adulto, perforan un hueco y salen al exterior, no volviendo a la madera hasta la puesta de huevos que inicie un nuevo ciclo vital. (Ref.3, pág. 1-32)

Defectos de Crecimiento

“Existen algunas características en la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento, y por afectar el comportamiento o aspecto de la madera se les llama defectos de crecimiento. Los principales son: nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y médula excéntrica”. (Ref.3, pág. 1-27)

“Los nudos son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producidas por el nacimiento y posterior desarrollo de las ramas. La influencia de los nudos en el comportamiento de elementos estructurales depende de la ubicación que éstos tengan con respecto a la distribución de los esfuerzos. En zonas en tracción su influencia es muy importante, no así en zonas en compresión. Los nudos producen inclinaciones en la dirección del grano que son zonas débiles de la madera. Existen tolerancias en las dimensiones de los nudos, que dan criterios de rechazo o aceptación de los elementos estructurales (Regla de Clasificación Visual)”. (Ref.3, pág. 1-27)

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia en el comportamiento de los elementos estructurales. La inclinación del grano puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la dirección longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado presentan grano inclinado. (Ref.3, pág.1-27)

“Las fallas de compresión son zonas de la madera en que las fibras están interrumpidas. Esto significa que al momento de cargar las piezas no será posible transmitir esfuerzos a través de dichas secciones. Se deben tomar precauciones especiales para evitar clasificar piezas que incluyan este defecto ya que la resistencia en esas zonas es nula”. (Ref.3, pág. 1-27)

Las perforaciones son agujeros que aparecen en las piezas de madera que han sido atacadas por insectos o larvas. La magnitud y número de las mismas está limitada por la regla de clasificación.

“La médula excéntrica es consecuencia del crecimiento de árboles en condiciones adversas, tales como, la excesiva pendiente del terreno, la presencia de vientos dominantes en un solo sentido, luz intensa en un solo lado, etc. La médula excéntrica permite que se formen anillos angostos en un lado y

anillos anchos en el lado opuesto del tronco, esto produce tensiones internas y una configuración oval de la sección transversal. Las tensiones así “almacenadas” se hacen presentes durante el secado, agrietando y deformando las trozas. Una buena técnica en el aserrado elimina en parte las tensiones y puede mejorar la calidad de la madera”. (Ref.3, pág.1-28)



Figura 4: Defectos en la madera.
Fuente: <https://www.slideshare.net/Yefreide/madera>.

Influencia del Contenido de Humedad

La madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad. Se puede observar también, que la resistencia permanece constante cuando el contenido de humedad varía por encima del PSF (punto de saturación de las fibras). (Ref.3, pág.1-29)

Influencia de la Densidad

La densidad es una medida de la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de ésta. En

probetas pequeñas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia. Los ensayos de laboratorio con estas probetas indican que existe buen nivel de correlación entre todas y cada una de las propiedades mecánicas y la densidad del material. (Ref.3, pág.1-30)

Duración de la Carga.

El efecto del esfuerzo prolongado sobre la resistencia de la madera es una de las características únicas de este material. Las primeras aproximaciones en la investigación de este comportamiento de la madera fueron en 1951 cuando el ingeniero Lyman W. Wood desarrolló una curva que recogía la variación de la resistencia de la madera en función del tiempo de duración de las cargas a las que estaba sometida. Esta curva se conoce como la Curva de Madison. (Ref. 5)

La Figura 6 muestra la Curva de Madison, fruto de ensayos experimentales de los años 50, junto con los valores que toma la resistencia de la madera en función del tiempo de carga recogidos en el Eurocódigo 5 actual.

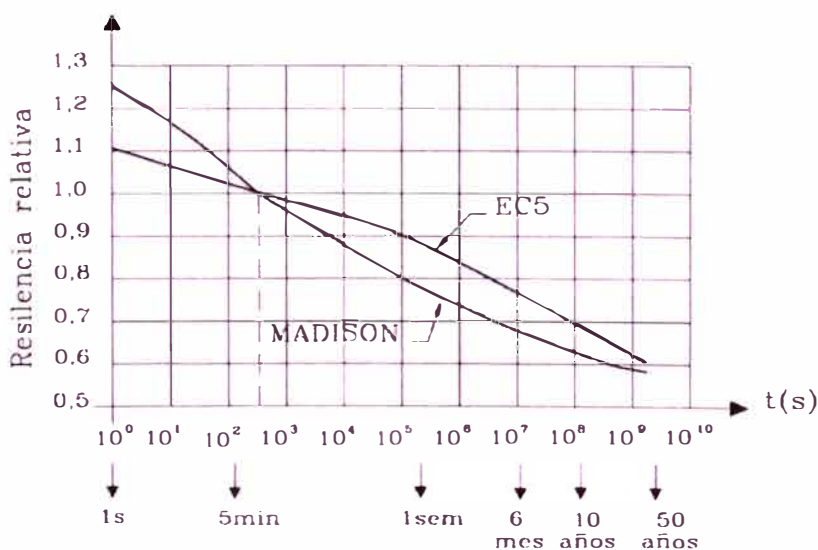


Figura 5: Curva de Madison.
 Fuente: Ref.5

Como se puede ver en la Curva de Madison, la resistencia de la madera disminuye conforme aumenta el tiempo de exposición a las cargas.

Esta diferencia de comportamiento que varía según la duración de la carga está más marcada cuanto mayor es la calidad de la madera. En maderas de baja

calidad el comportamiento de la madera frente a cargas rápidas de corta duración no es tan bueno porque se producen concentraciones de tensiones alrededor de los defectos: en los nudos, por ejemplo, pueden aparecer tracciones perpendiculares que producen el colapso en la pieza con valores de carga no muy elevados. Sin embargo, durante la exposición a cargas más lentas y de larga duración las tensiones se reducen redistribuyéndose a lo largo de toda la pieza. Este fenómeno se asocia a un comportamiento viscoso de la madera alrededor de sus defectos (fendas, nudos, acebolladuras...). (Ref.5)

Degradación

La madera, por ser un material orgánico y natural, constituido principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno puede ser degradada. La degradación de la madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos que a dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que la componen, afectando sus propiedades físicas y químicas y reduciendo severamente su resistencia estructural. (Ref.3, pág. 1-32)

El ataque de hongos xilófagos provoca lo que se conoce como pudrición de la madera y esta según el tipo de hongo puede ser: "Pudrición Suave o Blanda" cuando se destruye la celulosa y se caracteriza por ser superficial, degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa, de color oscuro. "Pudrición Blanca" cuando se destruyen todos los componentes de la madera (lignina y carbohidratos), el material residual semeja un esqueleto de madera sin coloración oscura. "Pudrición Parda" cuando se descompone la celulosa y sus pentosas asociadas, afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae agrietándose perpendicularmente a las fibras tomando conformaciones cúbicas. Otros tipos de ataques son los ocasionados por mohos y hongos cromógenos. Estos organismos no destruyen las células sino se alimentan de las sustancias que contienen en su interior. Atacan la madera con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (27 a 32 por ciento de CH). Los mohos requieren abundante humedad, constituyendo formaciones algodonosas en la superficie. En la madera seca se eliminan fácilmente mediante el cepillado. Los hongos cromógenos penetran en la madera oscureciéndola por zonas como el ataque conocido como mancha azul.

Para evitar el ataque de organismos biológicos degradantes, la madera sin durabilidad natural puede ser tratada mediante la impregnación de sustancias preservantes. La durabilidad natural de la madera depende principalmente de la especie y de la zona del tronco de donde ha sido extraída. Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas, como las fenólicas por ejemplo, que rechazan a los agentes biológicos que quieran invadirla. En su estado natural la albura se considera no durable.

DEGRADACION DE LA MADERA
AGENTES NOCIVOS DE LA MADERA
El deterioro de la **MADERA** es un proceso **natural** o **influido**, que altera las características de ésta, puede ser atribuida a dos causas primarias:

- **AGENTES ABIÓTICOS** que pueden ser físicos o químicos, climáticos o meteorológicos.
 - Humedad (ambiente, oxígeno, lluvia)
 - Rayos Ultravioleta (Sol).
 - El Fuego.
 - Uso Mecánico (Fatiga).
 - Envejecimiento.
- **AGENTES BIÓTICOS** (biológicos, Xilófagos o termitas, pájaros y roedores).
 - Baterías.
 - Insectos.
 - Xilófagos.
 - Xilófagos Marinos.
 - Hongos Cromógenos.
 - Hongos de Pudrición

Estos Agentes Alteran la **MADERA**




Figura 6: Degradación de la madera.

Fuente: <https://es.slideshare.net/arquilevis06/deterioro-de-la-madera>.

Ataques Químicos.

Se puede considerar que en general la madera es un material muy resistente al ataque de los productos químicos, si bien sufre alteraciones por la acción de ácidos fuertes, lejías alcalinas e incluso de los detergentes, lo que adquiere importancia en maderas de uso doméstico.

Los álcalis (sodio, calcio, magnesio, etc.) provocan la disminución de la resistencia y del peso de la madera, ya que ocasionan la disolución de la lignina y de la hemicelulosa. En general, las soluciones alcalinas suelen ser para la madera más destructivas que las ácidas (lo contrario ocurre con el acero).

3 CAPITULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE PASHACO.

3.1 LA ESPECIE PASHACO.

El Pashaco, en general es una especie no tan antigua en el mercado maderero. De otro lado, al parecer, se trata de una identificación que podría corresponder a tres especies diferentes que pertenecen a la familia Mimosaceae: Pashaco Blanco (*Albizzia* sp), familia Leguminosae: Pashaco Colorado (*Parkia pendula*)- ambas localizadas en Pucallpa- y el Pashaco- no se conoce si es blanco o colorado- observado en Iquitos (*Macrolobium acaceae-folioium*, de la familia Leguminosae). (Ref.6)

3.2 PROCEDENCIA DEL PASHACO EN PERÚ.

Se encuentra distribuida desde el sur de México, América Central, Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia. Habita en el bosque primario en terrenos periódicamente inundados de la amazonia peruana y brasilera. En el Perú se encuentra distribuida en los departamentos de Huánuco, San Martín, Loreto y Ucayali. Habita en las formaciones ecológicas de bosque húmedo subtropical (bh-ST). Se desarrolla en suelos bien drenados en las partes altas y bajas de los bosques primarios y secundarios.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL EN PIE.

Árbol de 30 metros de altura total. Altura comercial promedio de 25 metros. Diámetro a la altura del pecho de 40 a 100 cm. El tronco es recto, cilíndrico, ligeramente cónico. Ramifica para construir una copa blanca abierta. La corteza externa es de color marrón grisáceo, textura compacta, arenosa, ligeramente áspera olor fétido espesor varia de 2 a 4 cm. La corteza interna es de color blanco, textura lisa.

3.4 ANATOMÍA DEL PASHACO.

3.4.1 Descripción Organoléptica de la madera Pashaco.

“Son aquellas características externas o generales que pueden ser percibidas por los órganos sensoriales. En el caso del Pashaco, en el campo, basándose únicamente en la percepción de los sentidos, como por ejemplo, color, olor, grano, brillo, textura, etc”. (Ref.1, pág. 74)

Color	: Crema
Olor	: No distintivo
Brillo	: Medio
Grano	: Entrecruzado

Textura : Gruesa
Veteado : Arcos superpuestos
Dureza : Blanda
Peso : Liviana



Figura 7: Características de identificación macroscópica.

Fuente: Proyecto: Utilización Industrial y Mercado de Diez especies maderables potenciales de Bosques Secundarios y Primarios Residuales.

3.4.2 Características Macroscópicas del Pashaco.

Las características aquí presentadas fueron tomadas de la (Ref.1, pág. 75)

Parénquima:

Son visibles a simple vista.
Aliformes confluentes.

Porosidad:

Son visibles a simple vista.
Poros solitarios
Múltiples radiales
Difusa
Inclusiones

Radios o Anillos de crecimiento.

Visibles a simple Vista.

3.4.3 Características Microscópicas del Pashaco.

Todos los datos que se presentan a continuación se obtuvieron del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa)-Características Tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt.

Los vasos o poros, son exclusivo solitario de menos de 5mm.

Las fibras tienen un diámetro tangencial de $X200 \mu$ y son separadas.

Tiene radios comúnmente múltiples y homogéneos.

Los parénquimas son aliformes y confluentes.

Entre otras características contiene cristales de $(CO_3)_2Ca$.

3.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, UNIONES CLAVADAS Y TIEMPO DE SECADO DEL PASHACO.

Todos los datos que se presentan a continuación se obtuvieron del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa)-Características Tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt.

3.5.1 Propiedades físicas del Pashaco.

Densidad Básica: Es la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde. Es la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa son estables en una especie determinada.

Tabla 1: Propiedades físicas del Pashaco.
 Fuente: Propia.

PROPIEDADES FÍSICAS-MECANICAS EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO (<i>Albizzia sp</i>)	ESTUDIO TECNOLÓGICO DE MADERAS DEL PERÚ (ZONA PUCALLPA)-CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS Y USOS DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE ALEXANDER VON HUMBOLDT.		
	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	COEF. VARIACION
PROPIEDADES FÍSICAS			
DENSIDAD BASICA (DB) g/cm^3	0.45	0.17	108

3.5.2 Propiedades mecánicas del Pashaco.

Para la elaboración de este cuadro la información fue tomada del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa)-Características Tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt. (Ref.7)

Tabla 2: Propiedades mecánicas del Pashaco.

Fuente: Propia.

PROPIEDADES FISICAS-MECANICAS EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO (<i>Albizzia</i> sp)	ESTUDIO TECNOLÓGICO DE MADERAS DEL PERÚ (ZONA PUCALLPA)-CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS Y USOS DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE ALEXANDER VON HUMBOLDT.		
	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	COEF. VARIACION
PROPIEDADES MECANICAS POR FLEXION ESTATICA			
ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (ELP) Kg/cm ²	309	193	71
MODULO DE ROTURA (MOR) Kg/cm ²	508	316	52
MODULO DE ELASTICIDAD (MOE) Kg/cm ²	91600	52000	64
PROPIEDADES MECANICAS POR COMPRESION AXIAL PARALELA A LA FIBRA			
ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (ELP) Kg/cm ²	238	132	63
MODULO DE ROTURA (MOR) Kg/cm ²	273	144	60
MODULO DE ELASTICIDAD (MOE) Kg/cm ²	110700	63000	65
PROPIEDADES MECANICAS POR COMPRESION PERPENDICULAR			
ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL (ELP) Kg/cm ²	55	41	84
DUREZA			
EXTREMOS Kg/cm ²	335	223	76
LADOS 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
TENSION PERPENDICULAR			
TENSION PERPENDICULAR EN Kg/cm ²	46	20	71
TENACIDAD			
TENACIDAD EN Kg.m	2.8	2.4	193
EXTRACCION DE CLAVOS			
EXTREMOS EN Kg X CLAVO	82	60	83
LADOS EN Kg X CLAVO	112	80	82

3.5.3 Uniones Estructurales del Pashaco.

Se determinó la resistencia de uniones clavadas, mediante ensayos a doble cizallamiento y con cargas paralelas al grano. Se emplearon dos tipos de probetas, con 4 clavos cada una. No se precisan los diámetros. (Clavos de 2 ½” y 4” de longitud).

Se calculó Carga Lateral (CL) y Esfuerzo Básico (EB) y Valor de Diseño (VD) que es el valor del esfuerzo básico entre el número de clavos.

Para la elaboración de este cuadro la información fue tomada del Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa)-Características Tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt. (Ref.7)

Tabla 3: Valores de resistencia en uniones clavadas con madera Pashaco.
Fuente: Propia.

UNIONES ESTRUCTURALES: CARGA LATERAL EN UNIONES CLAVADAS (CL) EN Kg			
LONGITUD DE LOS CLAVOS	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	COEF. VARIACION
CLAVOS DE 2 1/2"	942	627	75
CLAVOS DE 4"	1763	906	58
UNIONES ESTRUCTURALES: ESFUERZO BASICO (EB) Y VALOR DE DISEÑO (VD) EN Kg			
LONGITUD DE LOS CLAVOS	ESF. BÁSICO	VALOR DE DISEÑO	
CLAVOS DE 2 1/2"	105	26	
CLAVOS DE 4"	285	71	

3.5.4 Secado del Pashaco.

Tabla 4: Tiempo de secado del Pashaco.
Fuente: Propia.

SECADO NATURAL						
ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD CH %		TIEMPO DE SECADO-DIAS	DEFECTOS DE FORMA	MANCHAS	
	INICIAL	FINAL				
PASHACO BLANCO	70	13	110	Ninguna	Ninguna	
SECADO ARTIFICIAL						
ESPECIE	PROGRAMA DE SECADO			COMPORTAMIENTO		
	SUAVE	MODERADO	FUERTE	BUENO	REGULAR	MALO
PASHACO BLANCO		SI		SI		

3.6 VOLÚMENES DE LA MADERA PASHACO EN INVENTARIOS FORESTALES.

3.6.1 Producción de madera rolliza y aserrada en Perú de la especie Pashaco por departamento.

Los cuadros mostrados son propios y fueron elaborados con datos recogidos de la revista Perú Forestal en números-MINAGRI-SERFOR-LIMA –PERU-de los años 2012, 2013 y 2014.

Producción de madera rolliza y aserrada de la especie Pashaco por departamentos, año 2012.

Tabla 5: Producción del Pashaco en el 2012.
Fuente: Propia.

REGION	ESPECIE	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (M3)	VOLUMEN DE MADERA ASERRADA (M3)
CUSCO	PASHACO	562.6	293.02
HUANUCO	PASHACO	288.98	162.74
JUNIN	PASHACO	44.01	22.92
LORETO	PASHACO	5996.29	655.49
MADRE DE DIOS	PASHACO	23474.31	11484.37
PASCO	PASHACO	1284.85	669.19
SAN MARTIN	PASHACO	490.25	255.34
UCAYALI	PASHACO	11464.36	3731.22

Producción de madera rolliza y aserrada de la especie Pashaco por departamentos, año 2013.

Tabla 6: Producción del Pashaco en el 2013.
Fuente: Propia.

REGION	ESPECIE	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (M3)	VOLUMEN DE MADERA ASERRADA (M3)
CUSCO	PASHACO	115.78	60.3
HUANUCO	PASHACO	348.96	37.96
JUNIN	PASHACO	120.48	34.37
LORETO	PASHACO	4717.98	2041.43
MADRE DE DIOS	PASHACO	19361.7	8083.87
PASCO	PASHACO	1602.1	570.72
SAN MARTIN	PASHACO	342.45	219.76
UCAYALI	PASHACO	5740.11	3298.87

Perú: Producción de madera rolliza y aserrada de la especie Pashaco por departamentos, año 2014.

Tabla 7: Producción del Pashaco en el 2014.
Fuente: Propia.

REGION	ESPECIE	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (M3)	VOLUMEN DE MADERA ASERRADA (M3)
CUSCO	PASHACO	568.08	295.88
HUANUCO	PASHACO	311.32	9.24
JUNIN	PASHACO	205.04	106.79
LORETO	PASHACO	4277.43	1734.91
MADRE DE DIOS	PASHACO	14133.73	7117.07
PASCO	PASHACO	1018.93	1802.13
SAN MARTIN	PASHACO	336.05	167.12
UCAYALI	PASHACO	8842.92	4673.44

3.7 PRECIO DE LA MADERA PASHACO.

Los cuadros mostrados son elaboración propia y contienen precios de la madera Pashaco procedentes de las principales ciudades de los corredores económico-viales Centro y Sur del país (Ucayali-Pucallpa). Los precios fueron recogidos de la Cartilla de Precios de Productos y Servicios Forestales-SERFOR-CAMARA NACIONAL FORESTAL.

Tabla 8: Precio del Pashaco al 2016.

Fuente: Propia.

	Especie	Nombre científico	Precio (S/./pt)
Troza - Pucallpa, enero 2016	Pashaco	Leguminoseae	0,80 - 1,00
Madera aserrada larga comercial - Pucallpa, enero 2016	Pashaco	Leguminoseae	1,30 - 1,70
Madera aserrada larga angosta - Pucallpa, enero 2016	Pashaco	Leguminoseae	0,90 - 1,20

Al mes de diciembre del 2009 el precio del Pashaco en los distritos de Independencia, Los Olivos, San Luis, San Juan de Lurigancho, Villa El Salvador y Villa María del Triunfo se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 9: Precio del Pashaco al 2009.

Fuente: Propia.

	Especie	Nombre científico	Precio (S/./pt)
Madera aserrada larga comercial - Pucallpa, enero 2009	Pashaco	Leguminoseae	0.70
Madera aserrada larga angosta - Pucallpa, enero 2009	Pashaco	Leguminoseae	0.35

El precio de la madera aserrada larga comercial en Lima del Pashaco al mes de junio del 2010 en los distritos de Independencia, Los Olivos, San Luis, San Juan de Lurigancho y Villa El Salvador fue de 2.20 soles el Pie Tablar. En Madre de Dios-Puerto Maldonado la madera aserrada larga comercial costó entre 1.70-1.80 soles el Pie Tablar, la madera aserrada larga angosta costó entre 1.40-1.70 soles el Pie Tablar. En Tacna la madera aserrada larga comercial costó 2.80 soles el Pie Tablar.

Se tiene información sobre el precio de madera aserrada de la especie Pashaco según la Cartilla de Precios de Productos y Servicios Forestales al mes de julio del 2013 en Arequipa fue de 2.60 soles el Pie Tablar.

La madera que se utilizó para realizar esta tesis se compró en la maderera El Otorongo ubicado en la dirección Mz. B Lt. 2 Av. Los Olivos de San Vicente SMP Lima-Lima. Se compró 379 pt que importó la suma de 920 soles dando como resultado el precio del pt igual a 2.43 soles.

Dos muestras de la madera que se compró en esta maderera fueron llevadas al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su identificación, los resultados mostraron que esta madera corresponde a:

Nombre Común: Pashaco

Nombre Científico: Albizzia sp.

Familia: Fabaceae



Figura 8: Compra de tabloncillos de la especie Pashaco.
Fuente: Propia.

4 CAPITULO IV: LOS CLAVOS.

4.1 LOS CLAVOS.

El clavo fue la primera solución que surgió como medio de unión capaz de transmitir de un elemento a otro de una estructura los esfuerzos que en ella se generan por la acción de fuerzas exteriores. Es un elemento metálico de unión simple y de fácil aplicación, ofreciendo la ventaja de su gran divulgación, que lo convierte en práctico y económico.

Su condición de elemento metálico de pequeña sección transversal, hace que el esfuerzo que es capaz de transmitir esté limitado por la concentración de tensiones que introduce en la madera y que tienden a rajarla en el lugar donde actúa. Por esta razón es imprescindible ubicar, en una misma unión, varios elementos, a fin de que la fuerza aplicada se reparta en un área que garantice que las tensiones desarrolladas se mantengan bajo el valor que provoca la rotura de la madera. El número de elementos en una unión tampoco puede ser muy alto, puesto que clavos muy cercanos producirían también el rajado de la madera y actuarían más como cuña sobre ella que como elemento de unión. Deberá, por lo tanto, existir, un justo término medio entre ambos criterios.

Otra característica de las uniones clavadas es la que se refiere a su ductilidad, la cual es ocasionada por la transmisión del esfuerzo a través de un elemento que tiende a rajar la madera debido a su pequeña sección transversal, y por la deformación por flexión del clavo, debido a su largo y a su pequeño momento de inercia.

Sin embargo, si esta ductilidad se restringe a ciertos límites, se convierte en una virtud, pues la unión puede absorber las tensiones que se producen debido a la aparición de esfuerzos secundarios que podrían transformarse en tensiones adicionales importantes, si tal deformación no se produjese.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CLAVOS.

Existe una extraordinaria abundancia de clavos, de distintos tipos, formas y nombres, cada cual con su propia aplicación. Los clavos se fabrican en una amplia gama de largos y tipos. El vástago, que corresponde a la parte que se hunde en el material, se denomina "espiga" y el tope superior, generalmente redondeado, es su "cabeza". La espiga del clavo es la que determina su capacidad de adherencia; la cabeza, su capacidad de agarre. Los de cabeza

grande agarran más firmemente, pues reparten las fuerzas en una superficie más amplia, mientras que los de cabeza pequeña se pueden introducir mejor dentro de la madera, pero son más difíciles de retirar cuando se quiere desarmar una unión. Se fabrican en materiales diferentes y se los somete a diversos tratamientos. Los de cobre y aluminio se utilizan donde existe necesidad de eliminar la corrosión y oxidación. Para estos mismos fines se utilizan los clavos de latón, bronce, acero inoxidable y galvanizados.

4.2.1 Los diferentes vástagos.

1) Clavo común (o de alambre): llamado también "Punta de París", tiene una espiga lisa y recta. Se utiliza en todo tipo de construcciones, trabajos de albañilería y carpintería gruesa, terminaciones sencillas y, en general en situaciones normales que no requieran mayor adherencia.

2) Con muescas: las muescas horizontales o diagonales a lo largo de la espiga aumentan su adherencia.

3) Con textura: la espiga se somete a un tratamiento que le otorga una textura especial que aumenta la resistencia y adherencia del clavo. Hay tres tipos, para seleccionar de acuerdo al material a clavar:

- **Con estrías anulares:** separan las fibras de la madera, las que -al frenarse en los anillos- se agarran con firmeza e impiden que el clavo se suelte fácilmente; se usan para clavar maderas blandas, contrachapados, aglomerados. Miden entre 12 y 50 mm de largo.

- **Con estrías en espiral:** giran a medida que se hunden en la madera; sirven para clavar maderas duras, como las de piso, revestimientos y vigas. También se usan para la fabricación de pallets.

- **Con estrías verticales:** sus estrías le sirven para cortar el material que atraviesan y aumentar su resistencia; se usan para clavar sobre albañilerías y hormigón.

4.2.2 Los tipos de cabezas más usadas.

1) Cabeza plana: a veces lleva un entramado diagonal; aunque afirman bien, se disimulan con dificultad y tienden a rajar la madera.

2) Cabeza ovalada: una pequeña cabeza sirve de tope, quedando a ras de la superficie; se utiliza en clavos de terminación, para carpintería en situaciones en donde se requiere dejar las cabezas cubiertas.

3) Cabeza reducida: similares a los de cabeza ovalada, los clavos con cabeza reducida suelen reemplazarlos debido a que son más resistentes y a que su cabeza se embute más fácilmente.

4) Cabeza de copa: diseñadas para clavos para planchas de yeso-cartón; no cortan el cartón de la superficie de la plancha y produce una depresión de forma regular, fácil de disimular rellenándola con base para juntas.

5) Cabeza cónica: se emplean para fijación de tableros manufacturados.

6) Puntas: muy delgadas, su cabeza cónica, apenas insinuada, no agrieta la madera. Se usan en carpintería fina y cuando se quiere conseguir uniones casi invisibles. Especial para fijar tableros, paneles de madera terciada, puertas y ventanas, rodones, molduras y chapas.

7) Cabeza cortada: de formas rectas (no redondeada), se fabrican a partir de una chapa metálica (no alambre); se usan para fijación de entarimados de piso, pues sujetan firmemente y no suelen rajar la madera.

8) Clavos de espigas: no tienen cabeza, sólo su espiga con 2 puntas (una a cada lado); se emplean en uniones de tope y ocultas. Se introduce una de las puntas en una de las piezas (hasta la mitad del clavo) y se clava luego la otra punta (la que quedó sobresaliendo) en la segunda pieza.

4.3 RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE LOS CLAVOS.

Al unir dos o más piezas de madera con clavos estos pueden quedar perpendiculares o paralelos a la fibra o inclusive inclinados un cierto ángulo, por lo que la resistencia que opone el clavo a la extracción, dependerá de estas condiciones. La fuerza de extracción del clavo con respecto a su eje, determina los dos tipos de resistencia de las uniones así clavadas:

- Carga paralela al eje del clavo, se presenta una resistencia a la extracción directa.
- Carga perpendicular al eje del clavo, estas uniones presentarán resistencia a la extracción lateral.

4.4 UNIONES DE EXTRACCIÓN DIRECTA.

Se entiende por uniones de extracción directa, aquellas en las que la sollicitación actúa axialmente respecto al eje del elemento de unión. La pieza que es

atravesada por el elemento de unión, se denomina pieza lateral y la que recibe su punta se conoce como pieza principal.

Este tipo de solicitaciones aparece cada vez que se necesita “colgar” algún elemento de la estructura. También es un componente de solicitación que se ejerce sobre los clavos lanceros.

La resistencia a la extracción directa está relacionada con la adherencia entre la madera y el elemento de unión. En el caso de clavos de vástago liso, esta adherencia solo depende del roce que es posible desarrollar entre el clavo y la madera por lo que su capacidad de trabajo a la extracción directa es mucho menor que la del elementos que poseen hilos o roscas.

4.5 UNIONES DE EXTRACCIÓN LATERAL.

Entiéndase por extracción lateral aquellas en las que la solicitación actúa perpendicularmente al eje del elemento de unión sometiéndolo a esfuerzos de cizalle en su sección transversal. Es el tipo de solicitación más común, y en la práctica, el diseño de estas uniones se resuelve con el uso de cualquier medio de unión.

La mayor o menor eficiencia de la solución dependerá de la influencia relativa que tienen los siguientes factores en la determinación de la capacidad admisible de cada medio de unión; geometría de la unión, espesores de las piezas, magnitud de las cargas y su dirección con respecto a las fibras de la madera, limitaciones de deformaciones o corrimientos, etc.

Cuando las solicitaciones en una unión son relativamente pequeñas, generalmente se recurre al uso de clavos, elementos de fácil colocación y costo reducido. Sin embargo, si las cargas son grandes será necesario recurrir a tornillos, tirafondos, pernos o conectores, elementos que involucran una mayor complejidad de colocación, costos más altos, y una metodología de cálculo más engorrosa. La resistencia a extracción lateral está íntimamente ligada con la resistencia al aplastamiento de la madera y, en la mayoría de los casos, con la capacidad de flexión del medio de unión.

5 CAPÍTULO V: CRITERIOS PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PORTANTE DE UNIONES CLAVADAS

5.1 CRITERIOS PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PORTANTE.

“El proyectista estructural dispone de expresiones provistas por las reglas de diseño para calcular la capacidad portante de las uniones clavadas. Esas expresiones se basan en criterios que interpretan el comportamiento mecánico de las uniones. El modelo desarrollado por Johansen (1949), luego expandido con los resultados de investigaciones posteriores, ha sido adoptado por numerosos códigos de diseño y ha alcanzado una trascendencia internacional destacada”. (Ref. 2, pág. 16)

5.2 EL MODELO DE JOHANSEN.

La resistencia de las uniones clavadas depende de la resistencia de la madera al aplastamiento del clavo (f_h) y de la resistencia del clavo a la flexión (M_y). Para la formulación de su teoría, Johansen supuso un comportamiento perfectamente plástico tanto para la madera como para el clavo, y verificó a través de ensayos que las fallas de los enlaces ocurrían de maneras diferentes. A partir de eso, Johansen utilizó el principio de equilibrio de fuerzas para desarrollar ecuaciones para cada modo de rotura. Möller reformuló las ecuaciones de Johansen para casos con diferentes espesores de piezas de madera y diferentes resistencias al aplastamiento (Figura 11). Los modos de falla se basan en la combinación de los fenómenos de aplastamiento de la madera en cada pieza y flexión del clavo.

En la Figura 10 se puede apreciar que en las uniones con una sección de cizallamiento los modos de falla (a) y (b) supone el aplastamiento de la madera en uno u otro miembro contra el clavo, el cual no gira ni se deforma flexionalmente. En el modo (c) el aplastamiento de la madera se da simultáneamente con el giro del clavo sin deformar. Los modos (d), (e) y (f) suponen el aplastamiento de la madera y la formación de una rótula plástica en uno, en otro o en ambos miembros unidos. Por su parte, en las uniones con dos secciones de cizallamiento los modos (g) y (h) suponen el aplastamiento de la madera en los miembros laterales o en el central, respectivamente, sin deformación flexional del clavo. Los modos (j) y (k) suponen el aplastamiento de la madera con la formación de rótulas plásticas en el miembro central o en los tres miembros, respectivamente. (Ref. 2, pág. 18)

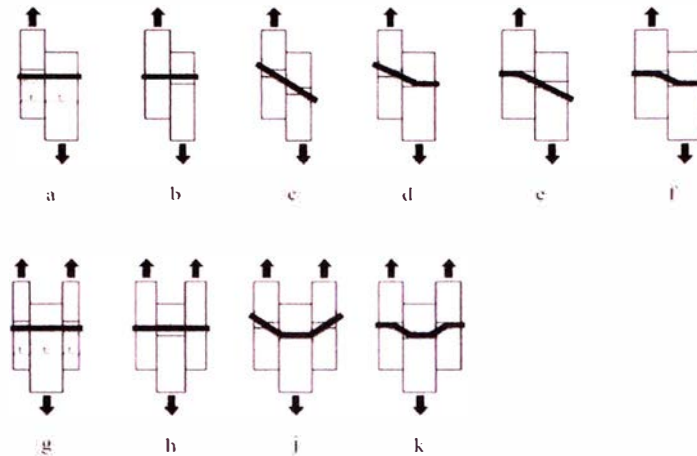


Figura 9: Modos de rotura posibles en una unión clavada según el modelo de Johansen.
 Fuente: Ref.2, pág.17

Tipo	Modo ⁽¹⁾	Expresión
Una sección de corte	a	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$
	b	$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d$
	c	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$
	d	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right]$
	e	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right]$
	f	$F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{v,Rk} f_{h,1,k} d}$
Dos secciones de corte	g	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$
	h	$F_{v,Rk} = 0,5 f_{h,2,k} t_2 d$
	j	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right]$
	k	$F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{v,Rk} f_{h,1,k} d}$

Figura 10: Capacidad portante para cada modo de rotura según el modelo de Johansen
 Fuente: Ref. 2, pág.20

En la Figura 11: $F_{v,Rk}$ es valor característico de la capacidad de carga por sección de corte y por clavo; t_i es el espesor de la madera, siendo i igual a 1 o 2; $f_{h,i,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i ; d es el diámetro del clavo; $M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico del clavo; β es la relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas ($f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$).

5.3 REGLAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

El modelo propuesto por Johansen (1949) para estimar la capacidad portante de las uniones clavadas ha sido adoptado por numerosas reglas de diseño estructural. Algunas de ellas lo han incorporado sin modificaciones sustanciales, como el NDS (2012) de EEUU, el Reglamento Argentino (INTI CIRSOC 2013b) y la norma chilena NCh 1198 (2007). En cambio, las reglas adoptadas en Europa a través del Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2005) consideran una expansión del modelo inicial. Por su parte, las reglas adoptadas en Brasil (ABNT 2010) han adoptado un modelo propio que no está basado en el propuesto por Johansen. Aquí en Perú se tiene el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino el cual propone unas fórmulas para calcular la carga admisible de las uniones clavadas.

A continuación se presentan los criterios de diseño adoptados en Perú (JUNAC), Europa, (Eurocódigo 5), en Argentina (CIRSOC 601) y en Brasil (ABNT 2010) más relacionados con el desarrollo de esta investigación. En todos los casos se mantienen los símbolos originales, con el propósito de facilitarle al lector la consulta directa de los documentos citados.

5.3.1 JUNAC

Las cargas admisibles en una unión clavada son función de las características de la madera, del clavo y de las condiciones de uso. Por lo general, cualquier variación de estos factores afecta más la resistencia a la extracción que a la resistencia al corte o cizallamiento.

Al respecto PADT-REFORT propone estimar la carga promedio correspondiente a la deformación especificada para un clavo a doble cizallamiento como:

$$P_{0.38\ prom} = 66.0 \rho^{1.022} d^{1.232}$$

Donde ρ es la densidad básica de la madera (en g/cm^3), d el diámetro del clavo en mm y P la carga por clavo en (Kg) .

Para la carga última se obtiene una expresión similar:

$$P_{U.min} = 136.6 \rho^{1.365} d^{1.311}$$

5.3.2 El Eurocódigo 5.

De acuerdo a las reglas europeas, el valor característico de la capacidad portante ($F_{v,Rk}$), por cada clavo y por cada sección de cizallamiento, es el mínimo de los que se obtengan aplicando las ecuaciones que para cada modo de rotura se indican en la Tabla 10. Para no redundar el esquema descriptivo de los modos de rotura, se han mantenido los símbolos empleados en la Figura 10.

Tabla 10: Capacidad portante para cada modo de rotura según el Eurocódigo 5.

Tipo	Modo ⁽¹⁾	Expresión ⁽¹⁾
Una sección de corte	a	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$
	b	$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d$
	c	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	d	$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	e	$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	f	$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{v,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
Dos secciones de corte	g	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$
	h	$F_{v,Rk} = 0,5 f_{h,2,k} t_2 d$
	j	$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	k	$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{v,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

En la Tabla 10 $F_{ax,Rk}$ es valor característico de la resistencia a la extracción del clavo y $F_{v,Rk}$ es valor característico de la capacidad de carga por sección de corte y por clavo; t_i es el espesor de la madera, siendo i igual a 1 o 2; $f_{h,i,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i ; d es el diámetro del clavo; $M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico del clavo; β es la relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas $(f_{h,2,k}/f_{h,1,k})$.

Se mencionó anteriormente que, las reglas europeas incorporaron a las expresiones iniciales deducidas por Johansen (1949) la capacidad portante adicional que provee la resistencia a la extracción de los clavos y la fricción entre las piezas unidas (rope effect). Esta resistencia adicional se desarrolla en la última fase del proceso de deformación de las conexiones cuando su modo de rotura corresponde a aquellos que desarrollan rótulas plásticas en los elementos de fijación (modos c, d, e, f, j, k). (Ref. 2, pág. 29)

“La consideración de la resistencia adicional antes mencionada fue materializada por estas reglas de dos formas: i) incorporando el sumando $F_{ax,Rk}/4$ en las expresiones correspondientes a los modos c, d, e, f, j, k, ii) afectando al primer término con el factor 1,05 (modos d, e, j) o con el factor 1,15 (modos f, k). No obstante, el valor de $F_{ax,Rk}/4$ debe limitarse a los siguientes porcentajes referidos al primer sumando de las expresiones: clavos comunes de sección redonda 15%, clavos comunes de sección cuadrada y bulones 25%, tipos especiales de clavos 50%, tornillos y tirafondos 100%”.(Ref. 2, pág. 30)

Estas reglas de diseño nos dan expresiones para estimar los valores característicos de las propiedades de los materiales (madera y clavos) que son necesarios conocer para resolver las ecuaciones mostradas en la Tabla 10. A continuación se muestran las ecuaciones que más tienen que ver con la temática abordada y con el desarrollo de esta tesis. (Ref. 2, pág. 30)

La resistencia característica al aplastamiento de la madera ($f_{h,k}$), para cualquier orientación de las fibras, puede determinarse para uniones clavadas de hasta 8mm de diámetro mediante las ecuaciones que se muestran a continuación.

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k \quad (MPa) \quad (\text{clavos con pre - taladrado})$$

Siendo:

ρ_k : valor característico de la densidad de la madera $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
 d : diámetro del clavo (mm)

El valor característico del momento de plastificación ($M_{y,Rk}$) en clavos de fuste liso fabricados a partir de acero con una resistencia mínima a tracción ($f_{u,k}$) de 600 N/mm², puede estimarse con las expresiones:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6} \quad (Nmm)$$

Siendo:

$f_{u,k}$: valor característico de la resistencia a la tracción (MPa)

d : diámetro del clavo (mm)

La resistencia a la extracción de clavos comunes puede estimarse, cuando la penetración de la punta en la madera es igual o mayor a 12 veces su diámetro, con la siguiente expresión:

$$F_{ax,Rk} = 0.00002 \rho_k^2 d t_{pen} \quad (N/mm)$$

Donde:

ρ_k : valor característico de la densidad de la madera (Kg/m^3)

d : diámetro del clavo (mm)

t_{pen} : penetración del clavo en la madera (mm)

Para que los modos de rotura mostrados en el modelo de Johansen puedan ser alcanzados, se necesita evitar fallas prematuras en la madera usualmente acompañadas por la formación de bloques de corte o fisuración. Para minimizar la probabilidad de que aparezcan roturas frágiles y garantizar el desarrollo del modelo mecánico adoptado, las reglas europeas efectúan recomendaciones constructivas y referidas al diseño geométrico de las conexiones. En relación con las uniones clavadas, para clavos de caña lisa la longitud de penetración en la pieza de madera en la que se aloja la punta debe ser al menos de 8 veces el diámetro (d) y en clavos nervurados (espiralados) de al menos 6d. Se recomienda un pretaladrado, el cual no debe superar 0,8d, en los siguientes casos: i) en maderas con una densidad característica mayor a 500 kg/m³, ii) cuando el diámetro del clavo sea mayor que 8mm y iii) cuando el espesor de las piezas de madera (t) sea menor que: (Ref. 2, pág. 18)

$$t = 7d \text{ ó } t = (13d - 30) \frac{\rho_k}{400}$$

Donde:

ρ_k : *valor característico de la densidad de la madera* ($\frac{Kg}{m^3}$)

d : *diámetro del clavo* (mm)

Los símbolos adoptados para denominar el espaciamiento (parámetros geométricos) se describen en la Figura 12, en tanto que los valores mínimos recomendados para uniones con clavos se exhiben en la Tabla 11.

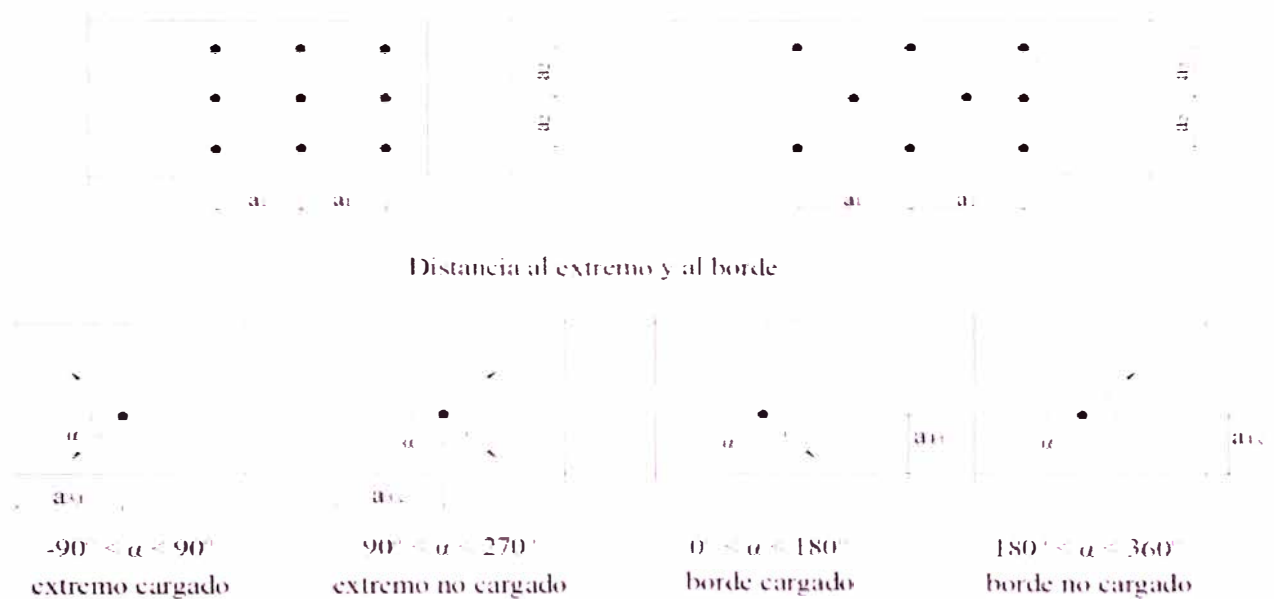


Figura 11: Símbolos empleados en las reglas europeas para indicar el espaciamiento.
 Fuente: Ref.2

Tabla 11: Espaciamiento mínimo recomendado por las reglas europeas para uniones clavadas.

Separación o distancia	Ángulo α		Separación o distancia mínima al extremo o al borde		
			Sin pre-taladrado		Con pre-taladrado
			$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
separación a_{11} (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$	$(5 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + \cos \alpha) d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$	$(5 + 7 \cos \alpha) d$		
separación a_{21} (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$		5 d	7 d	$(3 + \sin \alpha) d$
distancia a_{31} (extremo cargado)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$		$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
distancia a_{32} (extremo no cargado)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$		10 d	15 d	7d
distancia a_{41} (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$	$(5 + 2 \sin \alpha) d$	$(7 + 2 \sin \alpha) d$	$(3 + 2 \sin \alpha) d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$	$(5 + 5 \sin \alpha) d$	$(7 + 5 \sin \alpha) d$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$
distancia a_{42} (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$		5 d	7 d	3d

5.3.3 El Reglamento CIRSOC 601.

Las ecuaciones que muestra este reglamento para el cálculo de la capacidad portante de las uniones clavadas están basadas en el modelo inicial de Johansen. A diferencia del Eurocódigo 5, no tiene en cuenta la resistencia adicional originada por la extracción de los clavos y por la fricción entre los miembros unidos. (Ref. 2, pág. 35)

Las ecuaciones para determinar la capacidad portante por clavo correspondiente a cada modo de rotura se pueden apreciar en la Tabla 12. La capacidad portante para una unión múltiple resulta de multiplicar la capacidad de cada elemento por el número de elementos de la componen, considerando la eventual disminución debida al efecto grupal, ya comentado anteriormente. (Ref. 2, pág. 35)

Un análisis detallado de las expresiones incluidas en la Tabla 12, en la cual se han mantenido los símbolos originales por las razones expuestas anteriormente, prueba que las mismas son coincidentes con las del modelo de Johansen (1949) (Figura 11) y que las diferencias son solo aparentes. El análisis detallado confirma que es posible obtener los valores característicos de la capacidad portante (Z_{car}) en lugar de los admisibles (Z) presentados en la Tabla 12 si las propiedades que intervienen en el cálculo se expresan a través de sus valores característicos y se ignoran los coeficientes de reducción (R_d). Esta

transformación es empleada para el análisis, comparación y discusión de los resultados. (Ref. 2, pág. 35)

Tabla 12: Capacidad portante para cada modo de rotura según el CIRSOC 601

Tipo	Modo ⁽¹⁾	Expresión
Una sección de corte	I _s (a)	$Z = \frac{Dl_s F_{es}}{R_d}$
	I _m (b)	$Z = \frac{Dl_m F_{em}}{R_d}$
	II (c)	$Z = \frac{k_1 D l_s F_{es}}{R_d}$
	III _s (d)	$Z = \frac{k_3 D l_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$
	III _m (e)	$Z = \frac{k_2 D l_m F_{em}}{(1 + 2R_e) R_d}$
	IV (f)	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$
Dos secciones de corte	I (g)	$Z = \frac{2Dl_s F_{es}}{R_d}$
	I _m (h)	$Z = \frac{Dl_m F_{em}}{R_d}$
	III _s (j)	$Z = \frac{2k_3 D l_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$
	IV (k)	$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$

Entre paréntesis se ha indicado la correspondencia con la denominación empleada en el modelo de Johansen (ver Figura 10 y Figura 11).

- D:** Diámetro nominal del clavo cuando éste no es roscado o cuando la zona roscada está suficientemente lejos de las secciones de corte. En caso contrario se debe tomar el diámetro del núcleo del elemento, (D_r), en lugar de D .
- F_{em} :** Resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal.
- F_{es} :** Resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral.
- F_{yb} :** Tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación.
- l_m :** Longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal.
- l_s :** Longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral.
- R_d :** Coeficiente de reducción.
- R_e :** F_m/F_s

$$R_m: L_m/l_s$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_c + 2R_c^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_c^3} - R_c(1 + R_t)}{(1 + R_c)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_c) + \frac{2F_{vb}(1 + 2R_c)D^2}{3F_{cm}l_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_c)}{R_c} + \frac{2F_{vb}(2 + R_c)D^2}{3F_{cm}l_s^2}}$$

Los valores del coeficiente de reducción (R_d) varían en función del diámetro del elemento y del ángulo entre la dirección de la fuerza y la de las fibras como se expresa:

Para $D \leq 4,3\text{mm}$ es $K_D = 2,2$

Para $4,3\text{mm} < D < 6,35\text{mm}$ es $K_D = 0,38 D + 0,56$

En elementos de fijación roscados con $D \geq 6,35\text{mm}$ y $D_r < 6,35\text{mm}$, $R_d = K_D K_D$

Para $6,35\text{mm} \leq D \leq 25,4\text{mm}$

para modos de rotura I_m y I_s , $R_d = 4K_D$

para modos de rotura II $R_d = 3,6K_D$

para modos de rotura III_m, III_s y IV $R_d = 3,2K_D$

donde:

θ : máximo ángulo entre la dirección de la fuerza y la de las fibras de cualquier miembro que integra la unión ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)

K_D : $1 + 0,25 (\theta / 90)$

D : diámetro del elemento de fijación (mm)

En el Suplemento 4 de este Reglamento se indican valores de diseño de referencia para uniones mecánicas, se proveen valores de las propiedades de la madera y del acero.

Como se mencionó anteriormente, estas reglas de diseño nos dan ecuaciones para determinar los valores característicos de las propiedades de los materiales que se necesitan conocer para resolver las ecuaciones presentadas en la Tabla 10. A continuación se presentan las expresiones de mayor vinculación con la temática abordada y con el desarrollo de este trabajo de tesis.

La resistencia al aplastamiento de referencia (F_e) de la madera en uniones con clavos de diámetro (D) menor que $6,35\text{mm}$, se puede estimar independientemente de la dirección de la fibra y de D , mediante la ecuación:

$$F_e = 114,4G^{1,84} \quad (N/mm^2)$$

Donde:

G : Es el valor característico de la gravedad específica anhidra.

Por su parte, en uniones donde $D \geq 6,35\text{mm}$, F_e se estima en forma diferenciada para cuando la fuerza actúa en las direcciones paralela ($F_{e,paralela}$) y perpendicular

($F_{e,perpendicular}$) a las fibras mediante las expresiones dadas a continuación.

$$F_{e,paralela} = 77,2G \quad (N/mm^2)$$

$$F_{e,perpendicular} = 212 \frac{G^{1,45}}{D^{0,5}} \quad (N/mm^2)$$

Donde:

D : Es el diámetro expresado en mm .

Para casos donde el esfuerzo actúa con una dirección intermedia (θ) respecto a las fibras, la resistencia al aplastamiento de referencia se puede determinar con la ecuación de Hankinson:

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta}$$

Como estas reglas consideran como carga de duración normal (duración de referencia) la que actúa a su nivel de diseño durante un tiempo acumulado de 10 años, los valores obtenidos a través de la aplicación de las expresiones indicadas se corresponden con ese tiempo de actuación de la carga.

Con respecto a las propiedades mecánicas de los clavos, estas reglas consideran un valor característico de la tensión de fluencia en flexión (F_{yb}) intermedio entre los valores característicos correspondientes a la fluencia y a la resistencia última en tracción:

$$F_{yb} = \left(\frac{F_{yk} + F_{tk}}{2} \right) \quad (N/mm^2)$$

donde:

$F_{y,k}$: valor característico de la tensión de fluencia (N/mm^2)

$F_{u,k}$: resistencia última en tracción (N/mm^2)

5.3.4 La norma NBR 7190 (ABNT 2010)

Estas reglas son las únicas (de las tratadas en este capítulo) que no toman en cuenta el modelo de Johansen para determinar la capacidad portante y el correspondiente modo de falla en las uniones clavadas.

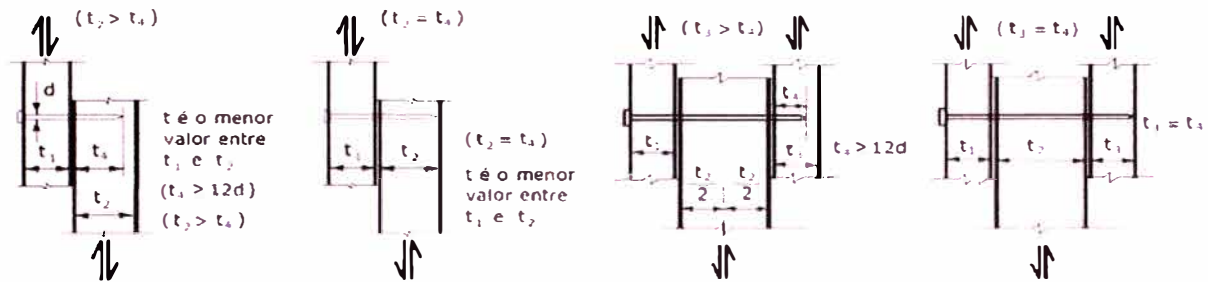


Figura 12: Uniones clavadas en corte simple y doble.
Fuente: Ref.8

La resistencia de una unión con un clavo presentando una sección de corte entre dos piezas de madera, se determina en función de la resistencia de diseño al aplastamiento (f_{wed}) de la madera, de la resistencia de diseño en fluencia (f_{yd}) y del diámetro (d) del clavo, y de un espesor convencional (t), tomado como el menor de los espesores t_1 y t_2 de penetración del elemento en las piezas que componen la unión. (Ref. 2, pág. 39)

El valor de diseño de la resistencia de un elemento, por cada sección de corte, se determina en función de un parámetro β expresado por la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{t}{d}$$

Siendo:

t : Espesor convencional de la madera (mm)

d : Diámetro del clavo (mm)

De acuerdo la norma NBR 7190, la capacidad portante puede quedar expresada de dos maneras diferentes en función de un límite adoptado para el parámetro β (β_{lim}). Queda expresada por aplastamiento de la madera cuando $\beta \leq \beta_{lim} = 1.25(f_{yd}/f_{e\theta,d})^{0.5}$, siendo f_{yd} y $f_{e\theta,d}$ las resistencias de diseño del clavo en tracción y de la madera al aplastamiento, respectivamente. En este caso la resistencia de diseño por cada clavo con una sección de corte es:

$$R_{vd,1} = 0,5tdf_{e\theta,d}$$

Por su parte, cuando $\beta > \beta_{lim}$ la resistencia queda expresada por la flexión del clavo.

$$R_{vd,1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$$

Para uniones que presentan dos secciones de corte la capacidad portante se determina aplicando el criterio expuesto anteriormente para cada sección de corte y luego duplicando el resultado. Para estos casos, se debe considerar el espesor convencional de la madera (t) como el menor valor entre t_1 y $t_2/2$ en una de las secciones de corte y entre $t_2/2$ y t_3 en la otra, siendo t_1 y t_3 el espesor de las piezas laterales y t_2 el espesor de la pieza central. (Ref. 2, pág. 40)

Para el análisis desarrollado en el Capítulo VII de esta de tesis es conveniente expresar los resultados de la capacidad portante en términos de valores característicos ($R_{vk,1}$). Esto es posible aplicando estas reglas de diseño si se tiene en cuenta que la resistencia de diseño al aplastamiento de la madera es $f_{e\theta,d} = K_{mod} f_{e\theta,k} / \gamma_{wc}$ y la resistencia de diseño en fluencia del elemento de fijación es $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_k$. En consecuencia, eliminando el coeficiente de modificación (K_{mod}) y los coeficientes de minoración (γ_{wc} y γ_s) es posible introducir los valores característicos (en lugar de los de diseño) de las propiedades de los materiales ($f_{e\theta,k}$ y f_{yk}) en las expresiones que permiten calcular la capacidad portante y obtener los valores característicos de ésta ($R_{vk,1}$). Esta transformación es empleada en la comparación de criterios de diseño que se lleva a cabo más adelante. (Ref. 2, pág. 40)

6 CAPÍTULO VI: PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

En este capítulo se puntualiza el programa experimental de este trabajo de tesis, se describen los materiales empleados para la construcción de las probetas destinadas al estudio de las uniones dobles, también se detallan los métodos de ensayo, abarcando todo el proceso desarrollado desde la preparación de las probetas hasta la determinación de las propiedades. Como ya fue expresado en la Introducción, el programa experimental se diseñó y se llevó a cabo conforme al criterio de las normas peruanas, americanas y europeas. Estas normas se adoptaron porque, además de constituir un cuerpo normativo completo y moderno, fueron utilizadas en la mayoría de los proyectos que se desarrollaron en los últimos años para conocer el comportamiento estructural de las especies forestadas en otros países.

En este apartado se presentan y discuten los resultados obtenidos experimentalmente para el comportamiento mecánico de conexiones materializadas con clavos de construcción de 4 pulgadas y de diámetro 4.56 mm y sometidas a cizallamiento doble. En el análisis se incluye la comparación de los resultados experimentales con los obtenidos conforme al criterio de reglas de diseño estructural.

6.1 MATERIALES.

Con el propósito de obtener resultados representativos de la especie investigada y a su vez comparables con los obtenidos aplicando las reglas de diseño del Reglamento Peruano de Estructuras de Madera, la madera empleada en todos los casos se obtuvo de forestaciones de Pashaco radicadas en Pucallpa departamento de Ucayali.

Los elementos de fijación (clavos) utilizados para este estudio fueron los de uso más común en el país y disponibles comercialmente en la región, ya que los conocimientos generados por esta investigación serán de interés para el sector científico y también para los calculistas y fabricantes de estructuras que operan con el material disponible en el mercado local. Para el estudio de las conexiones simples, destinadas a determinar la resistencia y la rigidez de la madera frente a esfuerzos de aplastamiento, se emplearon clavos lisos con cabeza, de 4 pulgadas de longitud y de diámetro $d = 4,56$ mm. Estas dimensiones permitieron cumplir con el requisito de rigidez estipulado por la norma EN 383 (2007), que

establece que el espesor de la madera (t) debe estar comprendido entre $1,5d$ y $4d$ (para los ensayos de aplastamiento debido al clavo sobre la madera) para evitar deformaciones flexionales en el elemento de fijación. Por su parte, para las uniones dobles también se usaron clavos con cabeza, de 4 pulgadas y de 4.56 mm de diámetro.

6.2 MÉTODOS.

Los métodos empleados en la preparación, ensayos y determinación de las resistencias de las uniones clavadas dobles (probetas) se realizaron siguiendo las normas ASTM D1761. Los espaciamientos que se utilizaron en esta norma también satisfacen los espaciamientos contemplados en las normas europeas, argentinas, brasileñas. La confección, ensayos y determinación de las propiedades de la madera se llevaron a cabo teniendo en cuenta los lineamientos de las normas peruanas NTP según el Inacal ; para la elaboración, ensayos y determinación de la resistencia al aplastamiento de la madera debido al clavo, resistencia a la tracción del elemento de fijación (clavo), resistencia a la extracción de clavos en las probetas respondieron a los lineamientos de las correspondientes normas europeas. En el Anexo de este trabajo de tesis se ponen a disposición los principales datos obtenidos de cada cuerpo de prueba, los cuales fueron utilizados para calcular los resultados presentados y discutidos en el Capítulo VII.

Por su parte, tanto en la construcción de las probetas como en el desarrollo de los ensayos llevados a cabo sobre ellos, se emplearon métodos especialmente adaptados para alcanzar los objetivos trazados.

6.3 RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DE LA MADERA DEBIDO AL CLAVO.

La resistencia al aplastamiento de una madera o de un tablero derivado de ésta es la tensión última de compresión que es capaz de soportar la pieza, ejercida por un elemento lineal rígido que atraviesa la unión. Se determina a partir de ensayos según la norma UNE EN 383, o bien a partir de la densidad característica p_k (kg/m^3) y del diámetro del clavo (en mm).

En este apartado se describen los métodos empleados en el desarrollo de la etapa destinada a investigar las características de resistencia y deformación de la madera cuando es sometida a esfuerzos de aplastamiento a través de un clavo con la rigidez suficiente para no deformarse flexionalmente durante el

ensayo. Dada la carencia de antecedentes y con el fin de proveer una base experimental sólida desde el punto de vista estadístico, el programa contempló ensayos en dirección paralela a las fibras y con un solo tipo de clavo. Los ensayos de esta etapa se ejecutaron conforme a la norma EN 383 (2007).

6.3.1 Cálculo de resistencia al aplastamiento por el clavo sobre la madera.

Normalmente, la resistencia al aplastamiento por el clavo de distintos tipos de madera se define a partir de ensayos. En la Figura 14 se muestran de modo esquemático los montajes y la forma en que se realizan estos ensayos. Los métodos de laboratorio que permiten determinar la resistencia al aplastamiento y el módulo de aplastamiento de los clavos para madera se pueden identificar según la norma (UNE-EN 383, 2007). Se debe realizar el ensayo de la probeta mediante un dispositivo que no debe ejercer ningún esfuerzo de fricción entre las placas de acero y las probetas que pudiera influir en las medidas.

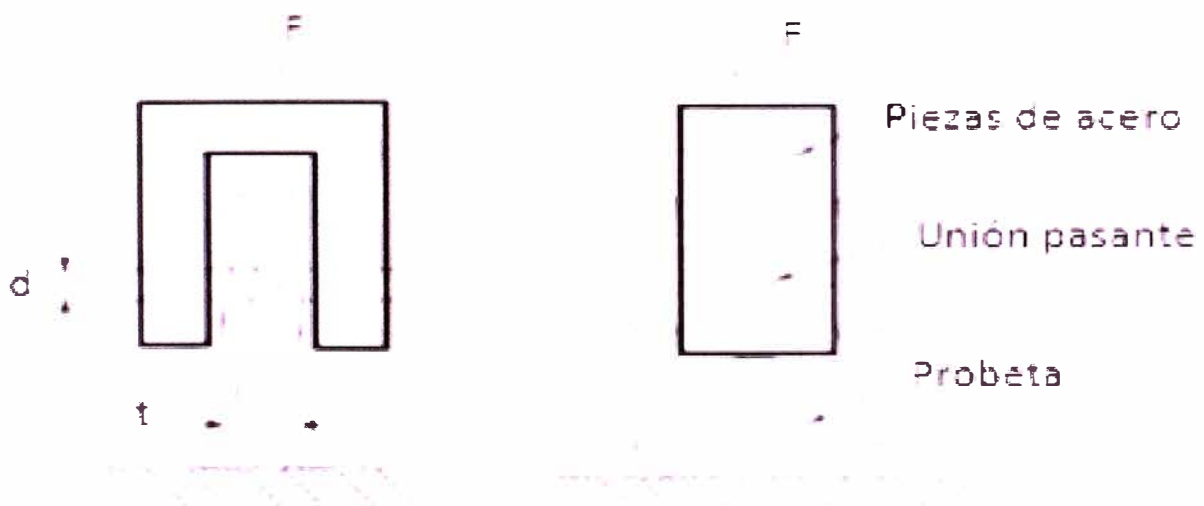


Figura 13: Dispositivo de ensayo para el cálculo de la resistencia al aplastamiento debido al clavo.
Fuente: Ref.9

6.3.2 Preparación de las probetas para el ensayo de Aplastamiento.

Se prepararon 20 probetas destinadas a determinar la resistencia de la especie investigada cuando es sometida a esfuerzos de aplastamiento. Las tablas se identificaron y posteriormente se marcaron sobre las mismas los cuerpos de prueba, manteniendo en todos los casos un criterio aleatorio.

Con el propósito de obtener datos experimentales que reflejen el comportamiento de la madera ante las acciones de aplastamiento ejercidas en

las condiciones usuales de la práctica constructiva, se prepararon cuerpos de prueba con clavos colocados sin perforación previa, con clavos de 4 pulgadas con diámetro de 4.56 mm. Siguiendo los lineamientos de la norma EN 383 (2007). A cada cuerpo de prueba se le dió la forma de un prisma rectangular y el elemento de fijación se colocó con su eje orientado perpendicularmente a las caras. Como lo establece la mencionada norma, las dimensiones de los cuerpos de prueba son función del diámetro del clavo. En la Figura 15 están esquematizadas las conexiones simples para los ensayos con un clavo rígido donde puede apreciarse la configuración y las principales medidas.

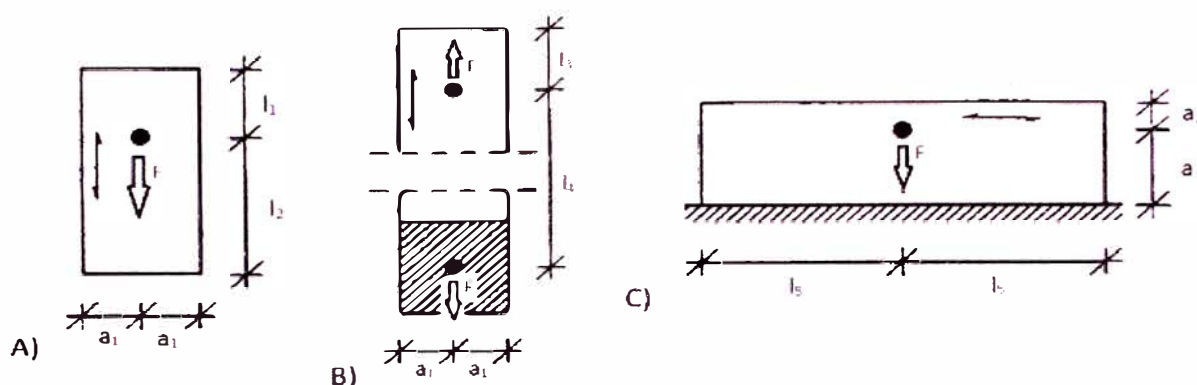


Figura 14: Dimensiones de las probetas en mm. Fuente: Ref.9

Tabla 13: Dimensiones de las probetas para ensayo de aplastamiento. Fuente: Ref.9

Dimensiones	Clavos con pretaladrado ($d = 4.56 \text{ mm}$)	Longitud (mm)	Redondeo (mm)	Probetas
a_1	$5d$	22.80	23.00	Madera maciza o tableros derivados de la madera
l_1	$12d$	54.72	60.00	
l_2	$12d$	54.72	60.00	

Los espesores mostrados en la Tabla 13, cumplen con el rango $1,5 \leq t / d \leq 4$ establecido por la norma EN 383 (2007) para la relación entre el espesor de la pieza (t) y diámetro del clavo (d). Este rango se sustenta en dos razones: i) una relación mayor a 4 originarían deformaciones flexionales en el clavo y en consecuencia afectar la uniformidad en la distribución de las tensiones de aplastamiento, invalidando los resultados experimentales y, ii) una relación menor a 1,5 no es representativa de las prácticas habituales de diseño y construcción de las conexiones mecánicas.

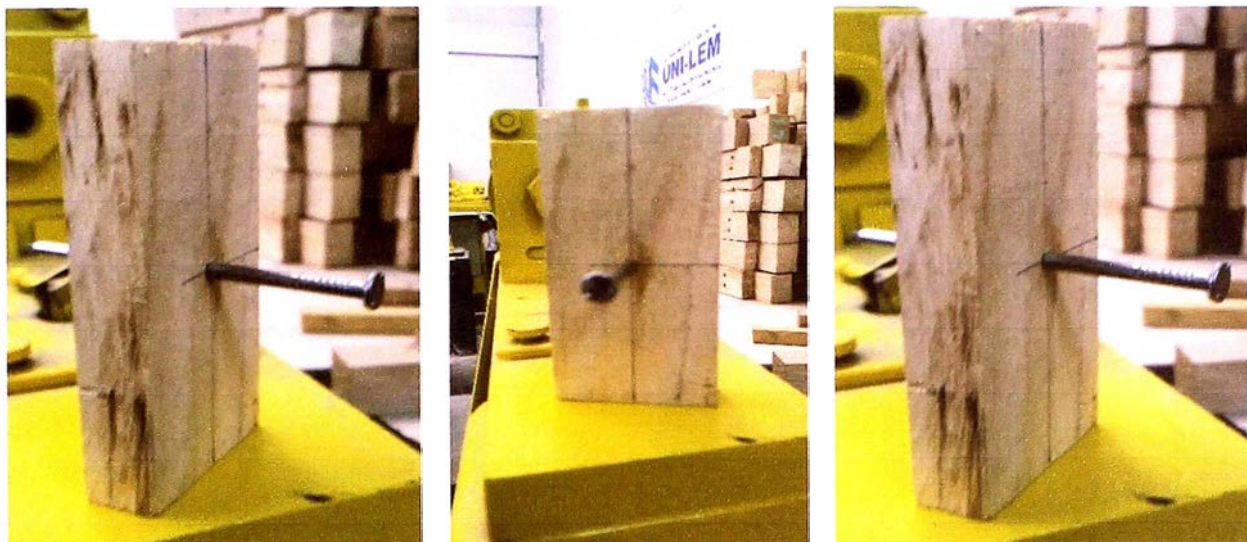


Figura 15: Probetas listas para el ensayo de aplastamiento.
Fuente: Propia.

La incorporación al análisis de los ensayos con clavos fue motivada, además de la necesidad de ampliar los conocimientos sobre este tipo de uniones, por el interés en comprobar si el comportamiento de esta especie es congruente con la experiencia y el criterio adoptado por las reglas de diseño europeas, que consideran que el pre-taladrado incrementa la resistencia al aplastamiento en las uniones clavadas. Por su parte, la inclusión de ensayos realizados cargando con fuerzas de compresión paralela a las fibras, modalidad aceptada por la norma EN 383 (2007), respondió en este caso a la decisión de indagar si existe alguna relación entre el tipo de esfuerzo axial y el comportamiento mecánico de esta especie bajo esfuerzos de aplastamiento. La Tabla 13 exhibe en detalle la composición del material preparado para esta etapa del programa experimental.

6.3.3 Ejecución de los ensayos y determinación de las propiedades.

Los ensayos de las conexiones simples se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se empleó una máquina de ensayos universales marca Zwick Roell del LEM-UNI con capacidad para 100 Ton. La aplicación de la carga se efectuó empleando dispositivos adicionales especialmente diseñados para evitar desviaciones, excentricidades y fricciones que alteren el fundamento de las pruebas adoptado por la norma EN 383 (2007). En la Figura 17 se puede apreciar el equipamiento empleado.



Figura 16: Ensayo de aplastamiento.
Fuente: Propia.

La fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}$ para este ensayo fue determinada experimentalmente a través de pruebas llevadas a cabo con cuerpos de prueba preparados especialmente para tal efecto. El mismo consistió en aplicar la carga a velocidad constante hasta alcanzar un deslizamiento de 5 mm. También se registró el valor de la máxima carga o la correspondiente al deslizamiento límite de 5 mm. Una vez culminado el ensayo se extrajo un trozo del cuerpo de prueba para determinar la densidad (ρ) y el contenido de humedad (H) conforme a las normas NTP 251.011-2014 y NTP 251.010-2014 respectivamente. En todos los casos el trozo se obtuvo de una zona cercana al elemento de fijación pero libre de deformaciones originadas por el aplastamiento. Se emplearon las siguientes expresiones:

$$f_h = \frac{F_{m\acute{a}x}}{d.t} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

Siendo:

- $F_{m\acute{a}x}$: Carga máxima o correspondiente a un deslizamiento de 5mm (N).
 d : Diámetro del elemento (mm).
 t : Espesor de la probeta (mm).

6.4 ENSAYOS Y DETERMINACIONES COMPLEMENTARIAS.

Se llevaron a cabo dos tipos de ensayos complementarios sobre clavos de 4 pulgadas y de 4.56 mm diámetro. Uno de ellos estuvo orientado a determinar la resistencia a tracción del clavo (y con este dato se calcula de forma indirecta momento de plastificación) y el otro a conocer la resistencia a la extracción de estos elementos de fijación. El momento de plastificación desempeña un rol importante en la capacidad portante de las conexiones que se rompen dúctilmente con la formación de rótulas plásticas conforme al modelo original de Johansen. La resistencia a la extracción provee una capacidad adicional desarrollada en la última fase del proceso de rotura, la cual ha sido incorporada al modelo original por las reglas de diseño europeas.

6.4.1 Ensayo de resistencia a la tracción en clavos.

El valor característico del momento de plastificación del clavo ($M_{y,Rk}$) desempeña un rol importante en las ecuaciones provistas por el Eurocódigo 5 para calcular la capacidad portante de uniones clavadas. En las uniones con dos secciones de cizallamiento se pone de manifiesto en los modos de rotura j y k. Considerando que esa información no es conocida para los clavos empleados en esta investigación y que las reglas de EEUU (NDS 2012) consideran que el valor del momento de plastificación se incrementa con la disminución del diámetro del clavo, se ensayaron 3 clavos de 4 pulgadas y de 4.56 mm de diámetro para calcular su resistencia a la tracción siguiendo los lineamientos de la norma EN 100002-1, estos ensayos se realizaron en el laboratorio Nro. 12 (LABICER) de la Facultad de Ciencias. Los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14: Resultados de los ensayos de Resistencia a la tracción .Fuente: Propia.

ANÁLISIS	REPETICIÓN	DIÁMETRO (mm)	FUERZA (KN)	RESULTADO (Mpa)
Resistencia a la tracción	1	4.56	14.65	901
	2	4.56	14.62	895.2
	3	4.56	14.7	904.1



Figura 17: Ensayo a la tracción de clavos. Fuente: Propia.

6.4.2 Resistencia a la extracción de clavos.

Las reglas europeas tienen en cuenta la capacidad adicional proporcionada por la resistencia a la extracción del clavo y la fricción entre las piezas unidas (rope effect) que se manifiesta en los modos de rotura que incluyen la formación de rótulas plásticas (modos de rotura j y k en las uniones con dos planos de corte). Las probetas consistieron en prismas rectangulares de madera con dimensiones de 5 x 5 x 15 cm con orientaciones bien definidas de los planos radial y tangencial. Se siguió lo recomendado en la norma ASTM-D1761, la cual indica el procedimiento para realizar este ensayo, consistente en que dos clavos deberán hincarse en ángulo recto a 32 mm de profundidad, a 20 mm de las aristas en las caras radiales y tangenciales, así como a 40 mm de los extremos de la probeta sin estar en la misma línea y con al menos una separación de 50 mm uno del otro; mientras que en las caras transversales los clavos se hincan al centro de las probetas. En total se utilizan seis clavos en cada probeta (Figura 19). Cada clavo se utilizó una sola vez. Se ensayaron 10 probetas para considerar exactamente esa capacidad adicional se utilizaron clavos de 4 pulgadas con diámetro igual a 4.56 mm.

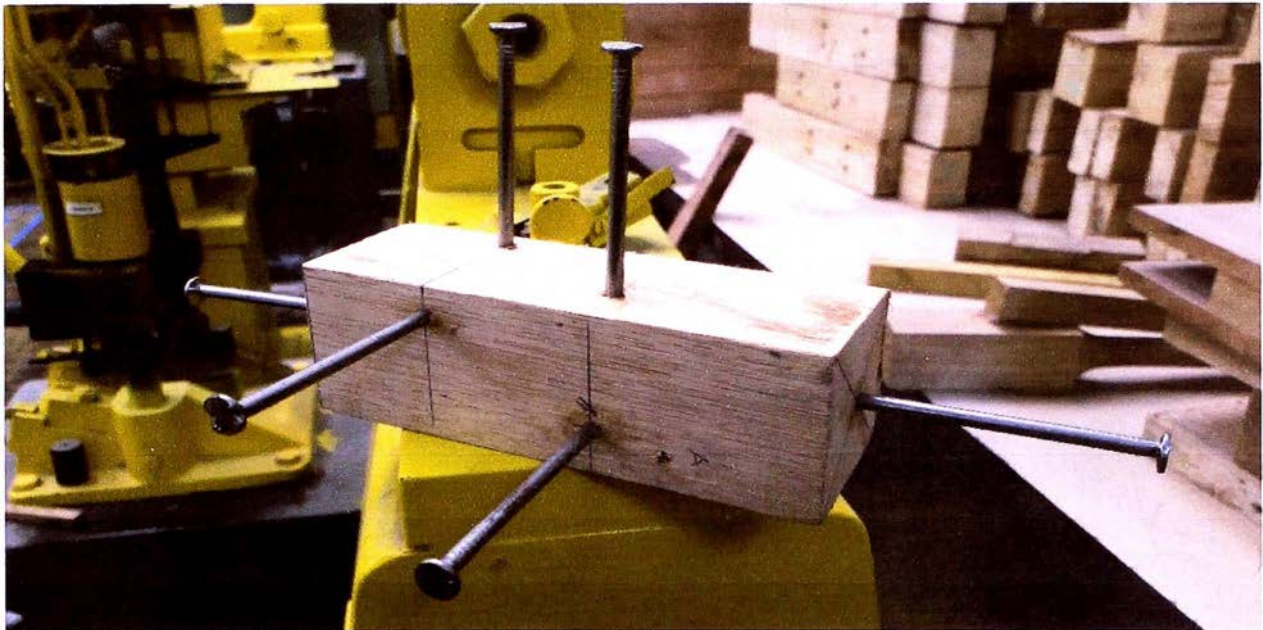


Figura 18: probeta lista para el ensayo de extracción de clavos. Fuente: Propia.

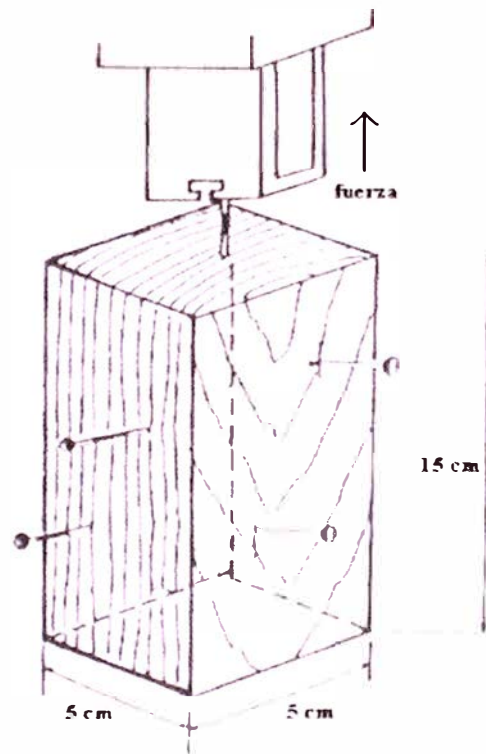


Figura 19: Ensayo de extracción de clavos. Fuente: Propia.

6.4.3 Equipo y condiciones del ensayo.

El equipo donde se realizaron los ensayos fue la Máquina Universal Nro 3, marca Zwick Roell del LEM-UNI (Figura 21) con capacidad de 100 toneladas. Cuenta con dos marcos: uno de compresión y otro de tensión; una interfaz llamada transductor se encarga de transmitir los impulsos de desplazamiento y carga al software de la máquina instalado en una laptop que es la que despliega la información en tablas y gráficas. El bastidor con las mordazas (un sencillo

dispositivo preparado para ese fin) que sujetan los clavos se fija en el marco de tensión de la máquina universal. La velocidad de extracción se calibra en 2 mm/min y la duración del ensayo estuvo comprendida entre 60 s y 120 s en todos los casos, los resultados reportan los valores máximos de extracción que se obtuvieron en cada ensayo en kg.



Figura 20: Máquina universal nro. 3, marca Zwick Roell del LEM-UNI con capacidad de 100 ton.
Fuente: Propia.

El parámetro de arrancamiento (f_{ax}), que se define como la resistencia al arrancamiento del elemento de fijación ofrecida por la madera por unidad de área de contacto, se calculó mediante la siguiente expresión:

$$f_{ax} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{d \cdot l_p} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \text{Siendo:}$$

$F_{m\acute{a}x}$: Carga máxima de extracción (N)

d : Diámetro del clavo (mm)

l_p : Longitud del clavo incluyendo la punta (mm)

Las reglas europeas tienen en cuenta la capacidad adicional proporcionada por la resistencia a la extracción del clavo y la fricción entre las piezas unidas (rope effect). Para su consideración incluyen el sumando $F_{ax,Rk}/4$ en las expresiones que proveen la capacidad portante para los modos de rotura que incluyen la formación de rótulas plásticas (modos de rotura j y k). Estas reglas también proveen una guía para obtener $F_{ax,Rk}$ en función del valor característico de la densidad, el diámetro del clavo y la penetración de la punta, pero ésta es válida

solo para clavos comunes de acero liso y para considerar exactamente esta resistencia adicional, se realizaron 10 pruebas de extracción llevadas a cabo conforme a la norma ASTM-D1761, empleando la misma especie de madera y clavos del mismo tipo que los utilizados en este proyecto. Los resultados se exhiben en la Tabla 15. A partir de los resultados de los ensayos ($f_{ax,k} = 6.02N/mm^2$).

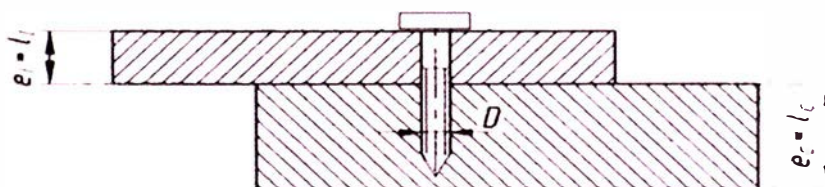
Tabla 15: Resultados de ensayos para la Resistencia a la extracción.
Fuente: Propia.

f_{ax} (N/mm ²); n=10	
VALOR MÍNIMO (N/mm ²)	7.05
VALOR MEDIO (N/mm ²)	10.11
VALOR MÁXIMO (N/mm ²)	15.71
VALOR CARACTERÍSTICO (N/mm ²) ($f_{ax,k}$)	6.02

6.5 UNIONES CLAVADAS.

6.5.1 Uniones clavadas sometidas a Cizallamiento Simple.

El ensayo de cizallamiento simple se define como la extracción lateral a la resistencia que opone un clavo cuando se le solicita mediante una fuerza perpendicular a su eje.



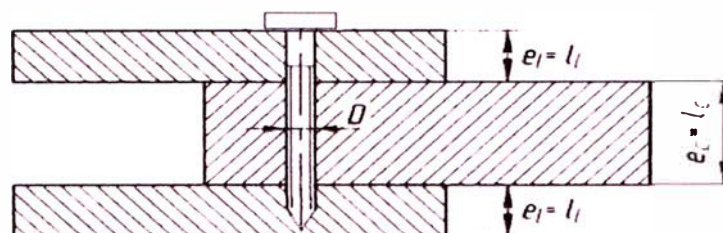
(Fuente NCh 1198 Of 2006)

FIGURA 21: Uniones clavadas sometidas a cizallamiento simple.

En este caso el cortante sólo se transmite en una sección del elemento de unión, estando además solicitada por el momento flector respecto a esta sección de corte, provocado por cada fuerza en cada una de las dos piezas de madera de la unión. Es importante conocer el comportamiento de las uniones para establecer el agotamiento o mecanismo de colapso de la unión en estado último. Estos distintos modos de falla se describen en la normativa mediante 6 modelos de rotura que dependen de la rigidez relativa entre la madera y el elemento clavija.

6.5.2 Uniones clavadas sometidas a cizallamiento doble.

En este ensayo el cortante se transmite en dos secciones del elemento de unión. Este es el caso en el que se tiene una pieza de madera central que equilibra su axil con dos piezas laterales. El clavo se encuentra solicitado a flexión cuyo valor dependerá de las condiciones de contacto (deslizamientos) y de la deformación de ambos materiales.



(Fuente: NCh 1198 Of 2006)

FIGURA 22: Uniones clavadas sometidas a cizallamiento doble.

Se realizaron 120 ensayos de cizallamiento doble paralelo al grano en esta investigación.

6.6 DISEÑO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE CON CARGA PARALELA AL GRANO.

El trabajo experimental fue llevado a cabo según los lineamientos del manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Para el diseño de las probetas de ensayo se trabajó el criterio de una variable que afecta la resistencia de la unión. La variable que se tomó en cuenta fue el número de clavos, con clavado alternado desde ambos lados. Se prepararon tres grupos de 40 probetas, las primeras 40 probetas fueron clavadas con 4 clavos y se clavaron 2 clavos en ambos lados, las siguientes 40 probetas fueron clavadas con 6 clavos y se clavaron 4 clavos en un lado y 2 clavos en el otro lado y las últimas 40 probetas llevan 8 clavos con 4 clavos en un lado y 4 clavos en el otro lado. Se usaron clavos de 4 " con cabeza y de caña lisa cuyo diámetro fue de 4.56 mm. Para la preparación de las probetas se utilizaron tres piezas de espesores diferentes con la intención de no usar el factor de reducción que recomienda el manual en caso que no se cumplan los requisitos de espesores mínimos.

Las dimensiones de los espaciamentos y distancias están en función del diámetro del clavo a utilizar y se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Espaciamientos mínimos para simple cizallamiento con pre taladrado o doble cizallamiento simétrico. Fuente: Ref.3.

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos	11d
		Distancia al extremo	16d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	6d
		Distancia a los bordes	5d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano	Espaciamientos entre clavos	11d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	6d
		Distancia al borde cargado	10d
		Distancia al borde no cargado	5d

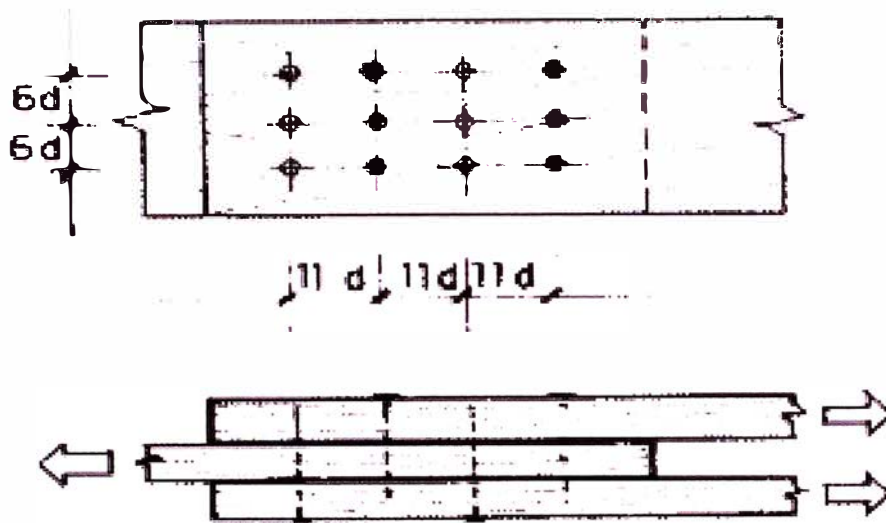
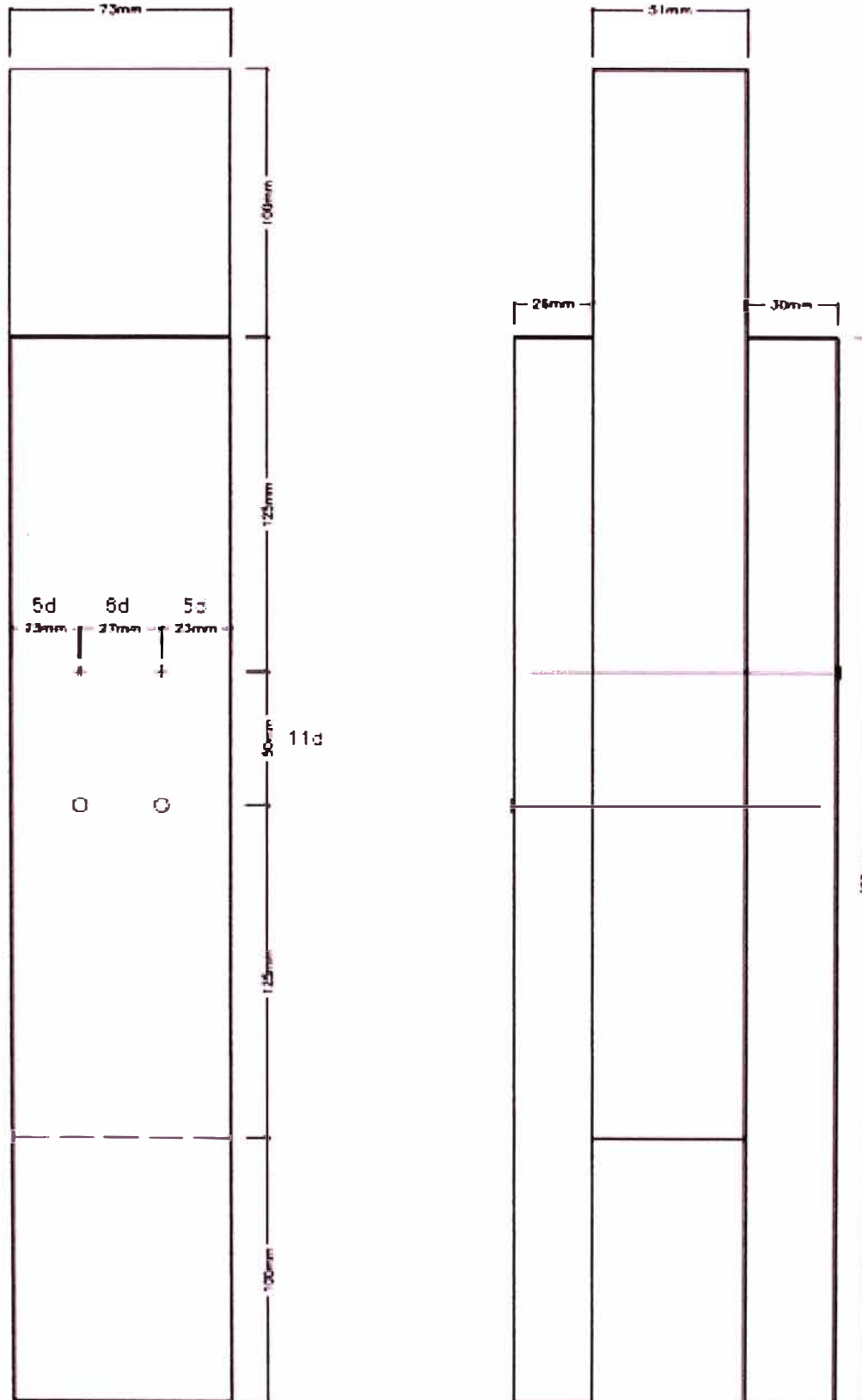


FIGURA 23: Espaciamientos según la JUNAC.
Fuente: Ref.3

De acuerdo a estas recomendaciones las dimensiones de las probetas son las que se muestran en la siguiente tabla:

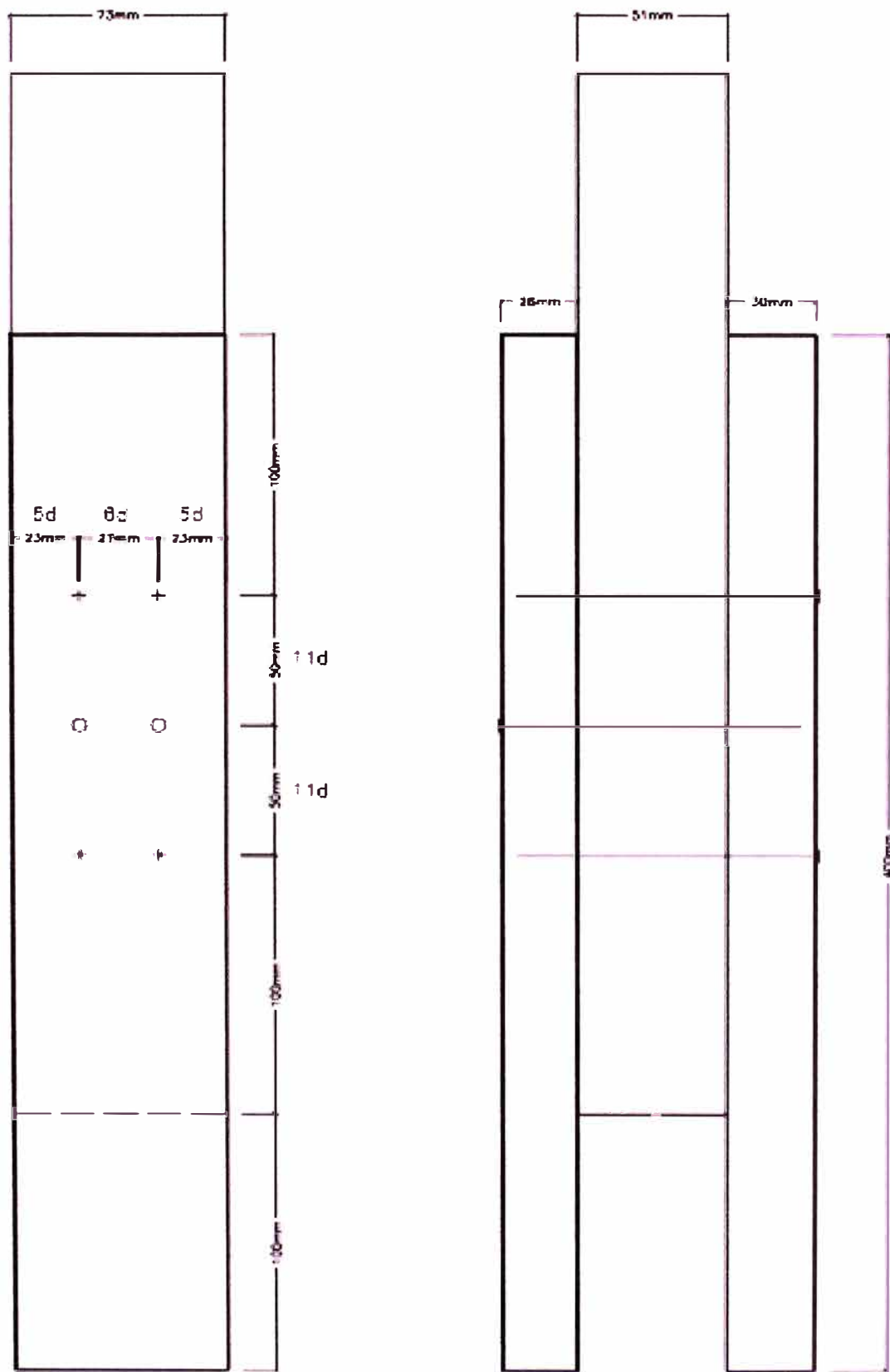
Tabla 17: Dimensiones de las probetas.
Fuente: Propia.

PIEZA	ESPEJOR(mm)	LARGO(mm)	ANCHO(mm)
LATERAL 1	26	400	73
CENTRAL	51	400	73
LATERAL 2	30	400	73



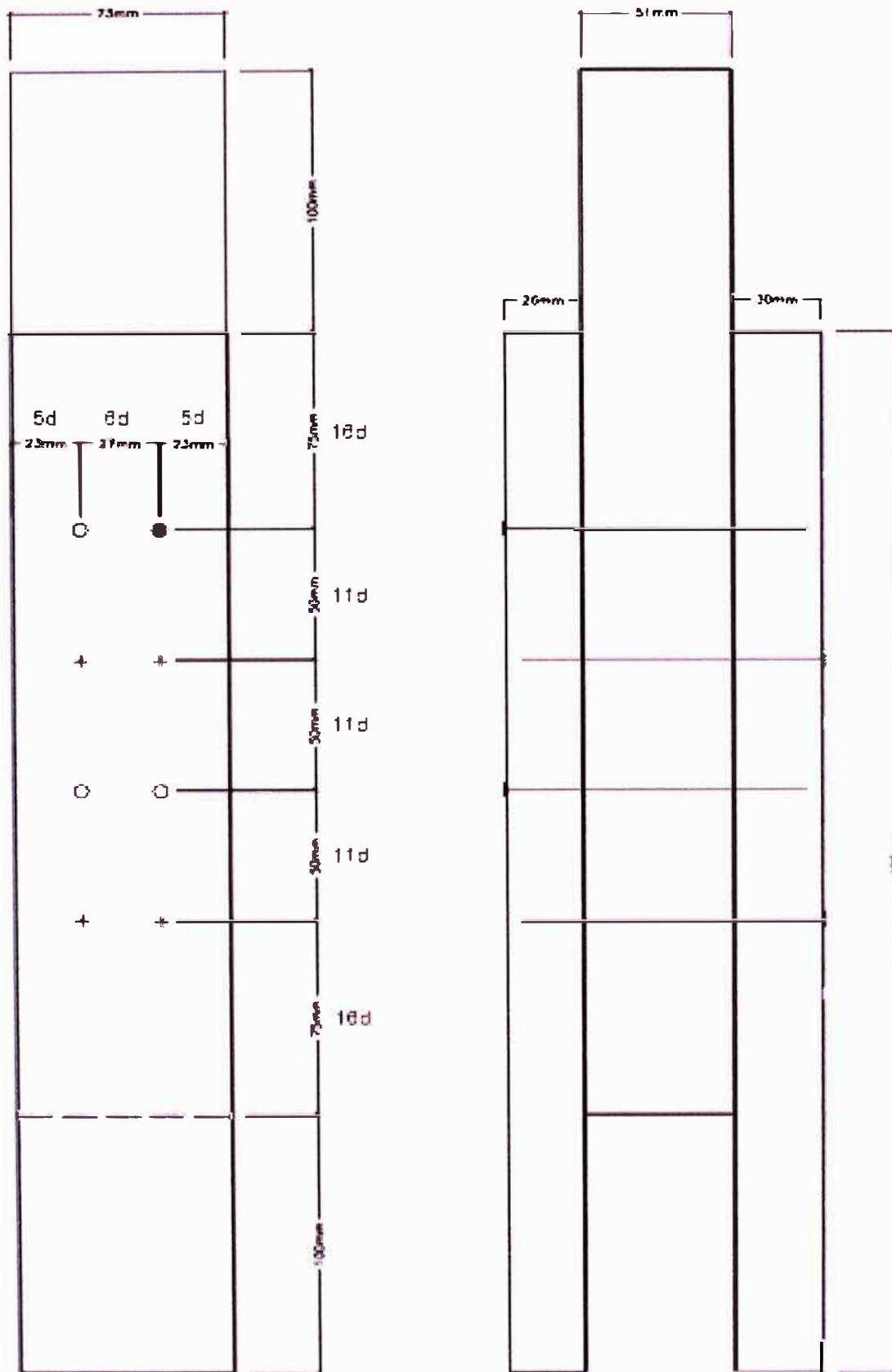
4 CLAVOS DE 4" ALTERNADOS EN AMBAS CARAS

Figura 24: Probetas con 4 clavos, 2 en cada lado.
Fuente: Propia.



6 CLAVOS DE 4" ALTERNADOS EN AMBAS CARAS

Figura 25: Probetas con 6 clavos, 4 en un lado y 2 en el otro.
 Fuente: Propia.



8 CLAVOS DE 4° ALTERNADOS EN AMBAS CARAS

Figura 26: Probetas con 8 clavos, 4 en un lado y 4 en el otro.
 Fuente: Propia.

6.6.1 Elaboración de las probetas.

La madera se compró en la maderera El Otorongo en el distrito de San Martín De Porras departamento de Lima. Se contó con el apoyo de un técnico de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la identificación visual de la especie y la verificación de la orientación de las fibras, también se encargó de escoger los tablones que se encuentren en las mejores condiciones, las que tengan la menor cantidad de defectos (Figura 28).



Figura 27: Elección de los tablones en las mejores condiciones. Fuente: Propia.

Se eligieron las dimensiones de los tablones de tal manera que del mismo salga la mayor cantidad de probetas (Figura 29).



Figura 28: Verificación de las medidas de los tablones. Fuente: Propia.

Se procedió a cortar los tablonés en dimensiones convenientes para poder transportarlos.



Figura 29: Corte de tablonés para poder transportarlos. Fuente: Propia.



Figura 30: Corte en medidas especificadas por el tesista. Fuente: Propia.

Se transportó la madera hacia el taller de carpintería de la Universidad Nacional de Ingeniería en donde se realizó el cortado de la madera en las dimensiones de las probetas, las cuales fueron facilitadas por el tesista.

Salvados todos los inconvenientes se hizo una plantilla de cartón con la ubicación de los clavos y poder marcar las probetas.

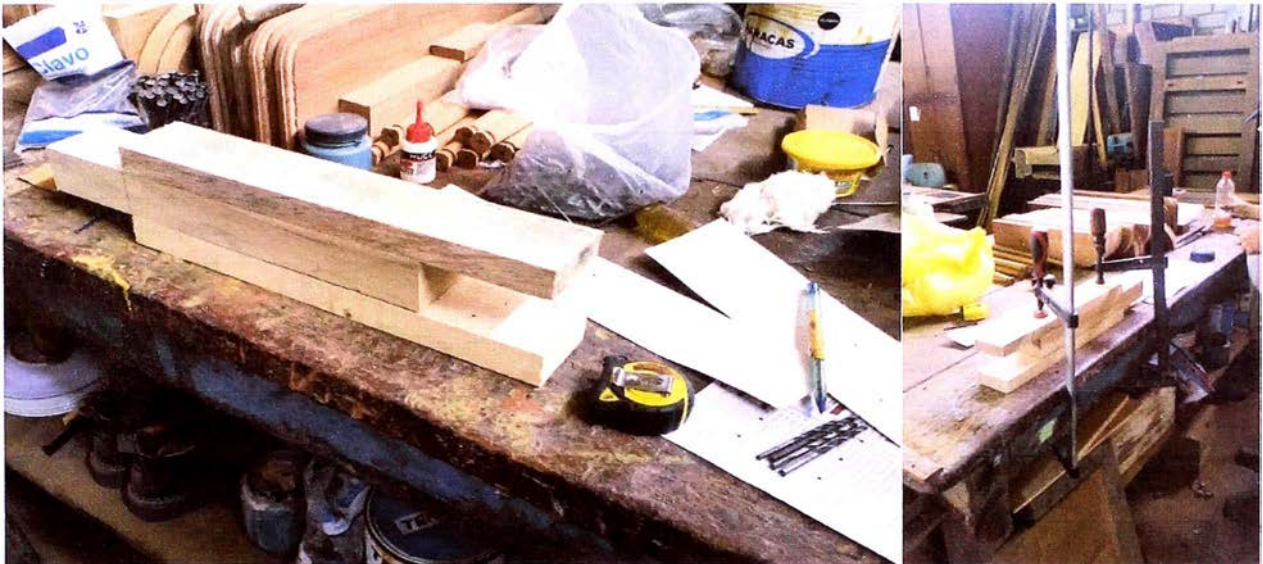


Figura 31: Marcado de la ubicación de los clavos. Fuente: Propia.

Debido a que al momento de clavar las piezas laterales se rajaban se tuvo que realizar un pre-taladrado, se utilizó una broca cuyo diámetro fue el 80% del diámetro del clavo.



Figura 32: Pretaladrado con broca de diámetro 0.8d. Fuente: Propia.

Una vez marcados los puntos donde irían los clavos se procedió al clavado teniendo en cuenta y cuidado de que los clavos ingresen de forma vertical, se utilizaron clavos con cabeza de construcción de 4 pulgadas de diámetro de cana lisa (marca PRODAC).



Figura 33: Clavado de las uniones dobles. Fuente: Propia.

Por último, ya con las probetas elaboradas se procedió a codificar y enumerarlas quedando así de esta forma listas para ser ensayadas.



Figura 34: Uniones dobles listas para ser ensayadas. Fuente: Propia.

6.6.2 Equipos, accesorios y herramientas utilizados.

Máquina Universal AMSLER, capacidad de 50 Ton.

2 LVDT Marca Omega, modelo LDB20-50.

1 Celda de Carga tipo compresión, modelo CPX50000.

Sistema de adquisición de datos PXI/SCXI.

4 Orejas de aluminio, 4 Platinas de acero, Tornillos para Drywall.

- Atornillador eléctrico (Black and Decker de 12V).

6.6.3 Preparación de las probetas para el ensayo.

Fue necesaria la fabricación de accesorios tales como platinas de acero, las cuales van atornilladas en la parte superior de cada pieza lateral. La parte inferior de dichas platinas sirven para que la punta de cada LVDT se apoye. También se fabricaron orejas de aluminio, las cuales fueron atornilladas a cada lado de la pieza central. Estas orejas tienen dos orificios de diámetro igual al diámetro de los LVDT, los LVDT se encajan sobre estos orificios y se desplazan hacia debajo de modo que lleguen a tocar la parte inferior de la platinas de acero; los LVDT se fijan a cada oreja mediante tornillos.



Figura 35: Probetas listas para ser instalada en la máquina de ensayo.
Fuente: Propia.

6.6.4 Ejecución de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas.

Se realizaron 120 ensayos de cizallamiento doble paralelo al grano (40 con 4 clavos, 40 con 6 clavos, 40 con 8 clavos). Los ensayos se realizaron en una Máquina Universal AMSLER cuya capacidad es de 50 Ton, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D1761, la cual especifica una velocidad de carga de $2.54 \text{ mm/min} \pm 25\%$, pero para lograr alcanzar esta velocidad se tuvo que realizar 6 ensayos previos para caer en el rango respectivo.



Figura 36: Máquina universal AMSLER con capacidad para 50 ton. Fuente: Propia.

Para medir los desplazamientos relativos entre las piezas central y laterales se hizo uso de dos dispositivos electrónicos llamados LVDT (Transformador Diferencial de Variable Lineal); estos LVDT registran los desplazamientos y la celda de carga registra la carga aplicada para luego transmitirlos a un CPU, esta celda está en contacto con el área donde se ejercerá la compresión (parte superior de la pieza central), los LVDT y la celda de carga se conectan a un CPU y los datos registrados y el diagrama de carga vs deformación se muestran en un monitor.



Figura 37: Sistema de adquisición de datos PXI/SCXI. Fuente: Propia.

6.7 LVDT

Es un sensor de desplazamiento que provee una salida de C.A. proporcional al desplazamiento de núcleo que pasa a través de sus arrollamientos. Los sensores de distancia tipo LVDT son elementos de medida inductivos. Se basan en el principio inductivo de transformador de núcleo variable. Esto permite que un movimiento lineal del núcleo en el interior del cuerpo del sensor provoque una variación de inducción entre primario y secundario, lo que se traduce en un cambio de señal de salida, proporcional a ese desplazamiento.

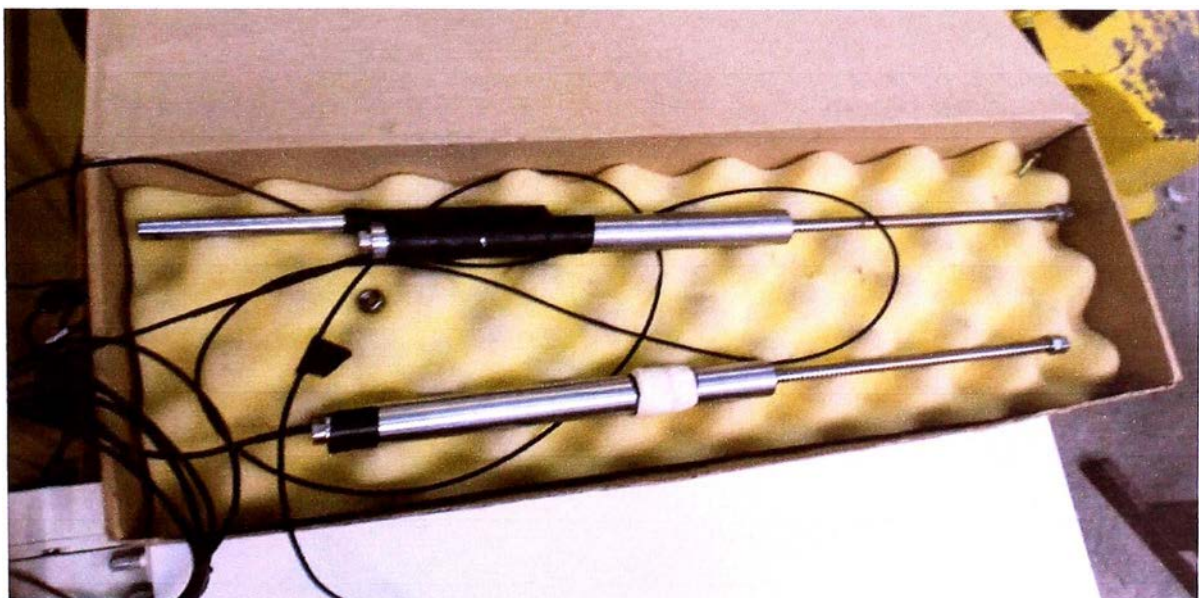


Figura 38: LVDT marca OMEGA, modelo LD320-50. Fuente: Propia.

6.8 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

Como se señaló anteriormente, el procedimiento realizado para la obtención de las propiedades físicas se realizó siguiendo las recomendaciones de las normas NTP.

6.8.1 Determinación del Contenido de Humedad (NTP 251.010).

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad.

Cálculo del Contenido de Humedad.- el agua contenida en el interior de la madera, sea en forma natural o por estar expuesta a condiciones del medio ambiente, puede variar principalmente debido a la humedad y temperatura predominantes en el lugar donde se utiliza.

Al cortar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, humedad que oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra.

Dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades, y luego agua adherida por capilaridad a las paredes celulares.

Cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio. Se denomina, entonces, humedad de equilibrio al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente.

Los cambios climáticos del aire que se suceden continuamente, día y noche según las estaciones, hacen que la humedad de la madera también cambie, aunque en valores pequeños.

Procedimiento.

Se utilizaron especímenes con unas dimensiones de: 3cmx3cm de sección transversal y 10cm de longitud (en realidad la norma no especifica las dimensiones de las probetas pero si advierte que sea cualquier material de madera de tamaño conveniente puede ser utilizado, siempre que sea consistente con el uso de frascos cerrados de pesaje y con la resolución de lectura de la balanza). Se pesaron las muestras para obtener el peso húmedo (PH), luego se colocaron en el horno que se muestra en la foto 13, se aplicó un calentamiento gradual hasta alcanzar los $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, dejando las probetas a esta temperatura por un periodo mayor a 24 horas. Luego se retiraron las muestras del horno, se pesaron en la balanza que se muestra en la figura 40, se repitió el procedimiento hasta obtener el peso constante, o sea el peso seco al horno (PS). Los contenidos de humedad se muestran en los anexos.

$$CH = \frac{(PH - PS) \times 100}{PS}$$

Donde:

CH: Contenido de Humedad (%).

PH: Peso Húmedo (g).

PS: Peso Seco (g).



Figura 39: Cálculo del peso seco. Fuente: Propia.

6.8.2 Determinación de la Densidad Básica (NTP 251.011).

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Para la obtención de la densidad básica (DB), se ha seguido lo establecido en la norma NTP 251.011, que es la relación entre el peso de la probeta seca al horno o anhidra y el volumen de la probeta en estado saturado. Según la norma, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$DB = \frac{PS}{VHS}$$

Donde:

PS: Es el peso seco al horno o anhidra. (g)

VHS: Es volumen en estado saturado. (cm³)

Equipos y herramientas.

Para la obtención de la densidad básica se utilizaron los siguientes equipos y herramientas:

- Horno (estufa eléctrica).
- Balanza de precisión ± 0.5 g.
- Balde con agua, para saturar las probetas de madera.
- Pipeta graduada.

Procedimiento para calcular la densidad básica.

Se utilizaron especímenes con dimensiones: 3cm x 3cm de sección transversal y 10cm de longitud (extraídas de las uniones clavadas ensayadas), se pesaron las muestras y luego se saturaron en agua de 20 a 24 horas, y se calculó el volumen saturado (VHS), empleándose para ello el método de medición indirecto por inmersión en agua destilada. Luego se colocaron en el horno, se aplicó un calentamiento gradual hasta alcanzar los 100°C ± 2°C, dejando las probetas a esta temperatura por un periodo mayor a 24 horas, luego se retiraron las

muestras del horno, se pesaron en una balanza, se repitió el procedimiento hasta obtener el peso constante, o sea el peso seco al horno (PS). Las densidades se muestran en los anexos.



Figura 40: Elaboración de las probetas para el ensayo de densidad. Fuente: Propia.



Figura 41: Ensayo de densidad. Fuente: Propia.

6.9 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

La adopción de un criterio validado internacionalmente para calcular los valores característicos de las propiedades determinadas experimentalmente sobre las uniones clavadas resulta de fundamental importancia para lograr resultados comparables. La norma EN 14358 (2016) provee un criterio específico para ese fin, el cual se indica a continuación:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln m_i$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln m_i - \bar{y})^2}$$

$$m_k = \exp(\bar{y} - k_s s_y)$$

$$k_s(n) = \frac{6.5n + 6}{3.7n - 3}$$

Donde:

\bar{y} : Valor medio

s_y : Desviación estándar

m_k : Valor característico (percentil del 5%)

$\ln m_i$: Logaritmo natural de los valores obtenidos de los ensayos.

n : Número de cuerpos de prueba

k_s : Coeficiente que varía en función del tamaño (n) de la muestra ensayada

7 CAPÍTULO VII: CÁLCULOS Y RESULTADOS

7.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En la siguiente tabla se muestran los valores del promedio, el valor característico (quinto percentil) y desviación estándar de los valores encontrados en los ensayos para una deformación de 0.38 mm y cuando alcanzan la rotura, los datos de los cuales se calcularon estos valores se encuentran en los anexos A, B y C.

Tabla 18: Cargas promedio, característicos y desviación estándar de los datos experimentales para una deformación igual a 0.38mm y rotura. Fuente: Propia.

NÚMERO DE CLAVOS	4 CLAVOS		6 CLAVOS		8 CLAVOS	
ENSAYO A:	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA
PROMEDIO (Kg)	896	2713	1100	3457	1223	4718
CARACTERÍSTICO (Kg)	343	2012	571	2653	597	3469
DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg)	324	452	322	476	397	753

7.2 VALORES ADMISIBLES.

Para obtener los valores de las cargas admisibles se tuvo que identificar en que forma falló cada probeta, si falló por corte cada valor obtenido experimentalmente se dividió entre 4, que es el Factor de Servicio y Seguridad según la Tabla 7.3 del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. (Ref. 3, Pág. 7-9), si falló por compresión se tuvo en cuenta dos factores de reducción F.S.=1.60 y F.D.C.=1.25 que son los factores de servicio y seguridad y el factor de duración de carga respectivamente. (Ref. 3, Pág. 7-9). Se calcularon también para estos valores reducidos el promedio, valor característico y desviación estándar los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19: Cargas reducidas promedio, característicos y desviación estándar de los datos experimentales para una deformación igual a 0.38mm y rotura. Fuente: Propia.

NÚMERO DE CLAVOS	4 CLAVOS		6 CLAVOS		8 CLAVOS	
ENSAYO A:	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA
PROMEDIO (Kg)	381	1161	469	1458	548	2075
CARACTERÍSTICO (Kg)	118	548	177	678	196	1154
DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg)	179	401	189	484	225	552

Teniendo en cuenta los **valores promedio** para una deformación igual a 0.38mm de la Tabla 19 se calculan las cargas admisibles de la siguiente manera:

Probetas con 4 clavos (valor promedio igual a 381 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 4 clavos, entonces, para calcular la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 381 Kg entre 8 = **48 Kg**.

Probetas con 6 clavos (valor promedio igual a 469 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 6 clavos, entonces, para calcular la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 469 Kg entre 12 = **39 Kg**.

Probetas con 8 clavos (valor promedio igual a 548 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 8 clavos, entonces, para calcular la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 548 Kg entre 16 = **34 Kg**.

Tabla 20: La siguiente tabla muestra los valores admisibles para un clavo en cizallamiento simple y para una deformación de 0.38mm obtenidas de probetas con 4, 6, y 8 clavos, también se muestra el valor promedio. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38mm (EXPERIMENTAL)
4 CLAVOS (DENSIDAD=320 Kg/m ³)	48
6 CLAVOS (DENSIDAD=361 Kg/m ³)	39
8 CLAVOS (DENSIDAD=342 Kg/m ³)	34
PROMEDIO	40

Tabla 21: Cargas reducidas promedio, característicos y desviación estándar de los datos experimentales para una deformación igual a 0.38mm y rotura. Fuente: Propia.

NÚMERO DE CLAVOS	4 CLAVOS		6 CLAVOS		8 CLAVOS	
ENSAYO A:	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA	0.38 mm	ROTURA
PROMEDIO (Kg)	381	1161	469	1458	548	2075
CARACTERÍSTICO (Kg)	118	548	177	678	196	1154
DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg)	179	401	189	484	225	552

Teniendo en cuenta los **valores característicos** en rotura de la tabla anterior se calculan las cargas por clavo en simple cizallamiento de la siguiente manera:

Probetas con 4 clavos (valor característico igual a 548 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 4 clavos, entonces, para calcular la carga última para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 548 Kg entre 8 = **69 Kg**.

Probetas con 6 clavos (valor característico igual a 678 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 6 clavos, entonces, para calcular la carga última para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 678 Kg entre 12 = **57 Kg**.

Probetas con 8 clavos (valor característico igual a 1154 Kg).

Como todos los ensayos fueron a doble cizallamiento entonces existen 2 secciones de corte por cada clavo y como cada probeta contiene 8 clavos, entonces, para calcular la carga última para un clavo en simple cizallamiento se tuvo que dividir 1154 Kg entre 16 = **72 Kg**.

Tabla 22: La siguiente tabla muestra las cargas últimas para un clavo en cizallamiento simple obtenidas de probetas con 4, 6, y 8 clavos, también se muestra el valor promedio. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	GARGA ÚLTIMA EN Kg (EXPERIMENTAL)
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	69
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	57
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	72
PROMEDIO	66

7.3 JUNAC

Según la JUNAC (Ref.3, pág.12-21) el valor medio de la carga correspondiente a una deformación de 0.38 mm, **para un clavo sometido a doble cizallamiento** puede estimarse como:

$$P_{0.38 \text{ prom}} = 66.0 \rho^{1.022} d^{1.232} \dots \dots \dots (1)$$

- a) Se calcula para las probetas con 4 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 320 Kg/m3 y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{0.38 \text{ prom}} = 66(0.32)^{1.022}(4.56)^{1.232} = 133.55 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento será: $133.55 \text{ Kg}/1.8 = \mathbf{74.19 \text{ Kg}}$. (Ref.3, pág.12-5)

Según la Tabla 20, se tomó en cuenta las consideraciones de diseño. (Ref.3, pág.12-22)

Tabla 23: Factores de reducción para la obtención de cargas admisibles.

Fuente: (Ref.3, pág.12-22)

Consideraciones de diseño	Valor promedio de la carga a 0.38 mm(condición de servicio)
Duración de carga	1.33
Variación del contenido de humedad (verde a seco)	1.25
Factores de carga	1.00
Aproximaciones del análisis y otros	1.25

Se calcula la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento:

$$74.19 \text{ Kg} / (1.33 * 1.25 * 1.25) = \mathbf{36 \text{ Kg}}$$

- b) Se calcula para las probetas con 6 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 361 Kg/m³ y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{0.38 \text{ prom}} = 66(0.361)^{1.022}(4.56)^{1.232} = \mathbf{151.06 \text{ Kg}}$$

En simple cizallamiento será: $151.06 \text{ Kg}/1.8 = \mathbf{83.92 \text{ Kg}}$.

Se calcula la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento:

$$83.92 \text{ Kg} / (1.33 * 1.25 * 1.25) = \mathbf{40 \text{ Kg}}$$

- c) Se calcula para las probetas con 8 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 342 Kg/m³ y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{0.38 \text{ prom}} = 66(0.342)^{1.022}(4.56)^{1.232} = \mathbf{142.94 \text{ Kg}}$$

En simple cizallamiento será: $142.94 \text{ Kg}/1.8 = \mathbf{79.41 \text{ Kg}}$.

Se calcula la carga admisible para un clavo en simple cizallamiento:

$$79.41 \text{ Kg} / (1.33 * 1.25 * 1.25) = \mathbf{38 \text{ Kg}}$$

Tabla 24: Cargas admisibles para la condición de servicio (deformación igual a 0.38mm) para un clavo sometido a simple cizallamiento según la JUNAC. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg SEGUN LA JUNAC
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	36
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	40
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	38
PROMEDIO	38

Para la carga última es posible obtener la expresión (Ref.3, pág.12-22):

$$P_{U,min} = 136.6 \rho^{1.365} d^{1.311} \dots \dots \dots (2)$$

Donde ρ es la densidad básica de la madera en g/cm^3 y d el diámetro del clavo en mm.

- a) Se calcula para las probetas con 4 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 320 Kg/m3 y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{U,min} = 136.6 (0.32)^{1.365} (4.56)^{1.311} = 210.81 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento será: 210.81 Kg/1.8 = **117.12 Kg.** (Ref.3, pág.12-22)

- b) Se calcula para las probetas con 6 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 361 Kg/m3 y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{U,min} = 136.6 (0.361)^{1.365} (4.56)^{1.311} = 248.51 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento será: 248.51 Kg/1.8 = **138.06 Kg.** (Ref.3, pág.12-22)

- c) Se calcula para las probetas con 8 clavos las cuales arrojaron una densidad igual a 342 Kg/m3 y con clavos de diámetro igual a 4.56 mm.

$$P_{U,min} = 136.6 (0.342)^{1.365} (4.56)^{1.311} = 230.84 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento será: 230.84 Kg/1.8 = **128.24 Kg.** (Ref.3, pág.12-22)

Tabla 25: Cargas últimas para un clavo sometido a simple cizallamiento según la JUNAC. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ÚLTIMA EN Kg SEGUN LA JUNAC
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	117
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	138
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	128
PROMEDIO	128

Por otro lado, según la Junta del Acuerdo de Cartagena, Tabla 12.1, (Ref.3, pág.12-4) **la carga admisible por clavo en simple cizallamiento** para clavos de 4 pulgadas y diámetro igual a 4.5 mm es **44 Kg**, al cual hay que aplicarle el factor 1.25 (Ref.3, pág.12-4) ya que se han ensayado probetas construidas con madera seca, este valor es directamente aplicable para uniones sometidas a cargas permanentes (Ref.3, pág.12-5) en consecuencia no fue necesario aplicar el factor de carga, resultando $(44 \text{ Kg})(1.25)=55 \text{ Kg}$.

En la siguiente tabla se comparan las cargas admisibles para una deformación igual a 0.38mm experimentales y las obtenidas por la JUNAC (Se tomaron en cuenta valores promedio).

Tabla 26: Comparación de cargas admisibles para un clavo en simple cizallamiento experimentales y según la JUNAC para una deformación igual a 0.38mm. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38mm(EXPERIMENTAL)	CARGA ADMISIBLE EN Kg PARA UNA DEFORMACIÓN IGUAL A 0.38mm(JUNAC)
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m ³)	48	36
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m ³)	39	39
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m ³)	34	38
PROMEDIO	40	38

En la siguiente tabla se comparan las cargas últimas experimentales y las obtenidas por la JUNAC (Se tomaron en cuenta valores característicos).

Tabla 27: Comparación de cargas últimas para un clavo en simple cizallamiento experimentales y según la JUNAC. Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ÚLTIMA EN Kg (EXPERIMENTAL)	CARGA ÚLTIMA EN Kg (JUNAC)
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m ³)	252	117
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m ³)	221	138
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m ³)	217	128
PROMEDIO	230	128

7.4 EUROCÓDIGO 5.

Se calcula la resistencia característica de aplastamiento en la dirección paralela a las fibras para clavos:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot (4.56)) \cdot 320 = 25.04 \text{ N/mm}^2$$

Con respecto a este valor se tiene información de ensayos experimentales que el valor promedio para la resistencia al aplastamiento para esta especie es **23 N/mm²**. (Ref.7, Pág. 27)

Se calcula el momento característico de plastificación para clavos de vástago liso fabricados con $f_{u,min} = 600 \text{ N/mm}^2$:

$$M_{y,Rk} = 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6} = 0.3(900.1)(4.56^{2.6}) = \mathbf{13,954.70 \text{ Nmm}}$$

La resistencia a la extracción y hundimiento de la cabeza de clavos comunes puede estimarse, cuando la penetración de la punta en la madera es igual o mayor a 12 veces su diámetro, con la siguiente expresión:

$$F_{ax,Rk} = 0.00002 \rho_k^2 \cdot d \cdot t_{pen} = 0.00002(320^2)(4.56)(28) = \mathbf{261.49 \text{ N}}$$

Como la penetración en la pieza de madera que contiene a la punta del clavo es menor que 8d entonces se tiene que tener en cuenta el siguiente factor de reducción:

$$\frac{t_{pen}}{4d - 2} = \frac{28}{(4)(4.56) - 2} = 1.7$$

$$\frac{261.49}{1.7} = 154 \text{ N}$$

Con respecto a este valor se tiene resultados de ensayos experimentales que el valor característico para la resistencia a la extracción para esta especie es **6 N/mm²**.

Como son **uniones dobles** se calcularán los valores de resistencia correspondientes a los modos **g, h, j y k**.

Modo g:

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d = (25.04)(26)(4.56) = \mathbf{2,968.74 \text{ N} = 302.62 \text{ Kg}}$$

Modo h:

$$F_{v,Rk} = 0.5 \cdot f_{h,2,k} t_2 d = (0.5)(25.04)(51)(4.56) = \mathbf{2,911.65 \text{ N} = 296.80 \text{ Kg}}$$

Modo j:

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left(\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Reemplazando datos:

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{(25.04)(26)(4.56)}{2 + 1} \left(\sqrt{2(1)(1 + 1) + \frac{4(1)(2 + (1))(13,954.70)}{(25.04)(4.56)(26^2)}} - 1 \right) + \frac{154}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 1576.27 \text{ N} = 160.68 \text{ Kg}$$

Modo k:

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Reemplazando datos:

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1 + 1}} \sqrt{2(13,954.70)(25.04)} + \frac{154}{4} = 2,087.40 \text{ N} = 212.78 \text{ Kg}$$

Considerando que según este modelo de cálculo el valor característico ($F_{v,Rk}$) corresponde al menor resultado de los calculados, resulta $F_{v,Rk} = 160.68 \text{ Kg}$

El Eurocódigo 5 considera:

$$R_d = K_{mod} \left(\frac{R_k}{\gamma_M} \right)$$

Donde:

R_d : Valor de capacidad de carga de cálculo.

R_k : Valor característico de la capacidad de carga.

γ_M : Coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material.

K_{mod} : Factor de modificación, cuyos valores tienen en cuenta, previamente, la clase de duración de la combinación de la carga y la clase de servicio.

Tabla 28: Clase de duración de las cargas.
Fuente: Documento Básico SE-M Madera.

CLASE DE DURACIÓN	DURACIÓN APROXIMADA ACUMULADA DE LA ACCIÓN EN EL VALOR CARACTERÍSTICO	ACCIÓN
PERMANENTE	MAS DE 10 AÑOS	Permanente, peso propio
LARGA	DE 6 MESES A 10 AÑOS	Apeos o estructuras provisionales no itinerantes
MEDIA	DE UNA SEMANA A 6 MESES	Sobrecarga de uso;nieve en localidades de mas de 1000m
CORTA	MENOS DE UNA SEMANA	Viento; nieve en localidades de menos de 1000m
INSTANTÁNEA	ALGUNOS SEGUNDOS	sismo

Cada elemento estructural considerado debe asignarse a una de las clases de servicio definidas a continuación, en función de las condiciones ambientales previstas:

Clase de servicio 1: Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.

Clase de servicio 2: Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año.

Clase de servicio 3: Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2.

Tabla 29: Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M
Fuente: Documento Básico SE-M Madera.

SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS:	γ_M
Madera maciza	1.30
Madera laminada encolada	1.25
Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1.20
Tablero de partículas y tableros de fibras(duros, medios, densidad media, blandos)	1.30
Uniones	1.30
Placas clavo	1.25
SITUACIONES EXTRAORDINARIAS	1.00

Tabla 30: Valores del factor K_{mod} .
Fuente: Documento Básico SE-M Madera.

MATERIAL	NORMA	CLASE DE SERVICIO	CLASE DE DURACION DE LA CARGA				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza		1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.60	0.55	0.65	0.70	0.90
Madera laminada encolada		1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90

Aplicando los respectivos factores obtenemos la carga admisible para la unión doble con 4 clavos:

$$R_d = (0.60) \left(\frac{160.68}{1.3} \right) = 74.16 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento:

$$\frac{74.16Kg}{2} = 37 Kg$$

Análogamente se calculan las cargas admisibles para las probetas con 6 y 8 clavos, obteniéndose: **41 Kg** y **39 Kg** respectivamente.

Tabla 31: Cargas admisibles para un clavo sometido a simple cizallamiento según el Eurocódigo 5.
Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg SEGUN EL EUROCÓDIGO 5
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	37
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	41
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	39
PROMEDIO	39

7.5 CIRSOC 601

$$F_e = 114.4 G^{1.84} N/mm^2$$

$$F_e = 114.4 (0.290)^{1.84} = 11.73 N/mm^2$$

Como las tres piezas son de la misma madera:

$$F_{em} = F_{es} = 11.73 N/mm^2$$

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} = \frac{11.73}{11.73} = 1$$

$$R_m = \frac{L_m}{L_s} = \frac{51mm}{26mm} = 1.96$$

$$R_d = K_D K_\theta$$

$$K_D = 0.38D + 0.56 = 0.38(4.56) + 0.56 = 2.29$$

$$K_\theta = 1 + 0.25\left(\frac{\theta}{90}\right)$$

Como la carga es paralela a las fibras:

Entonces: $\theta = 0$

$$K_\theta = 1 + 0.25\left(\frac{0}{90}\right) = 1$$

Resultando que:

$$R_d = K_D K_\theta = (2.29)(1) = 2.29$$

Con relación a las propiedades mecánicas de los clavos:

$$F_{yb} = \left(\frac{F_{yk} + F_{uk}}{2} \right) \text{ N/mm}^2$$

$$F_{yb} = \left(\frac{631.52 + 900.1}{2} \right) = 765.81 \text{ N/mm}^2$$

Se calcula el valor de k_3 :

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}L_s^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + 1)}{1} + \frac{2(765.81)(2 + 1)(4.56)^2}{3(11.73)(26)^2}} = 1.83$$

Ahora se calcula los valores de resistencia correspondientes a los modos que contienen 2 secciones de corte:

$I_m(g)$, $I_m(h)$, $III_s(j)$ y $IV(k)$:

Modo $I_s(g)$:

$$Z = \frac{2DL_s F_{em}}{R_d} = \frac{2(4.56)(26)(11.73)}{2.29} = 1,212.94 \text{ N} = 123.64 \text{ Kg}$$

Modo $I_m(h)$:

$$Z = \frac{DL_m F_{em}}{R_d} = \frac{(4.56)(51)(11.73)}{2.29} = 1,191.24 \text{ N} = 121.43 \text{ Kg}$$

Modo $III_s(j)$:

$$Z = \frac{2k_3 DL_s F_{em}}{(2 + R_e)R_d} = \frac{2(1.83)(4.56)(26)(11.73)}{(2 + 1)(2.29)} = 740.90 \text{ N} = 75.52 \text{ Kg}$$

Modo IV(k):

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1+R_e)}} = \frac{2(4.56)^2}{2.29} \sqrt{\frac{2(11.73)(765.81)}{3(1+1)}} = 992.46 \text{ N} = 101.17 \text{ Kg}$$

De acuerdo al reglamento argentino el valor característico es el menor de los calculados anteriormente, en consecuencia:

$$Z_{car} = 75.52 \text{ Kg}$$

Análogamente se encuentran los valores para uniones con 6 y 8 clavos de **86.73 Kg** y **81.16 Kg** respectivamente. Ahora, para obtener las cargas admisibles el reglamento Argentino propone:

$$Z_{adm} = Z_{car}(C_D)(C_M)(C_t)(C_g)(C_{tn})$$

Donde:

C_D : Factor de duración de carga.

Tabla 32: Factor de duración de la carga.
Fuente: Reglamento CIRSOC 601.

DURACION DE LA CARGA	C_D	EJEMPLO DE CARGA
PERMANENTE	0.90	PESO PROPIO
10 AÑOS(DURACION NORMAL)	1.00	SOBRECARGA DE USO
2 MESES	1.15	NIEVE
7 DIAS	1.25	CONSTRUCTIVA
10 MINUTOS	1.60	VIENTO,SISMO
INSTANTANEA	2.00	CARGA ACCIDENTAL

C_M : Factor de duración de servicio.

Tabla 33: Factor de condición de servicio.
Fuente: CIRSOC 601

CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL MATERIAL		C_M
AL CONSTRUIR LA UNIÓN	DURANTE LA VIDA ÚTIL	
SECO	SECO	1.00
HÚMEDO	SECO	0.40
CUALQUIERA	HÚMEDO	0.70

C_t : Factor de temperatura.

Tabla 34: Factor de temperatura.
Fuente: Reglamento CIRSOC 601.

CONDICIÓN DE SERVICIO EN ESTADO:	C_t		
	$T \leq 40^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C} \leq T \leq 52^\circ\text{C}$	$52^\circ\text{C} \leq T \leq 65^\circ\text{C}$
SECO	1.0	0.8	0.7
VERDE	1.0	0.7	0.5

C_g : Factor de acción de grupo.

Según este reglamento, cuando una fila esté integrada por 2 o más clavos, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deberán ser multiplicados por el factor de acción de grupo C_g .

Para un clavo con $D < 6,35$ mm se debe utilizar **$C_g = 1,0$** .

C_{tn} : Factor de clavado oblicuo.

Si no se realiza clavado oblicuo el valor $C_{tn} = 1$. Cuando se utilizan uniones con clavado oblicuo, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deben ser multiplicados por el factor de clavado oblicuo, C_{tn} , de no efectuarse un análisis más detallado o disponer de resultados experimentales, debe considerarse **$C_{tn} = 0,83$** .

$$Z_{adm} = Z_{car}(C_D)(C_M)(C_t)(C_g)(C_{tn})$$

$$Z_{adm,4\text{ clavos}} = 75.52(0.9)(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) = 67.97\text{ Kg}$$

En simple cizallamiento: $67.97\text{Kg}/2 = 34\text{ Kg}$

$$Z_{adm,6\text{clavos}} = 86.73(0.9) = 78.06\text{ Kg}$$

En simple cizallamiento: $78.06\text{Kg}/2 = 39\text{ Kg}$

$$Z_{adm,8\text{ clavos}} = 81.16(0.9) = 73.04\text{ Kg}$$

En simple cizallamiento: $73.04\text{Kg}/2 = 37\text{ Kg}$

Tabla 35: Cargas admisibles para un clavo sometido a simple cizallamiento según el CIRSOC 601.

Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg SEGUN EL CIRSOC 601
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	34
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	39
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	37
PROMEDIO	37

7.6 NBR 7190

Sabemos que:

t : Es el menor valor entre t_1 y $\frac{t_2}{2}$, como $t_1 = 26\text{mm}$ y $t_2 = 51\text{mm}$

$$\rightarrow t = 25.5 \text{ mm}$$

$$d = 4.56 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t}{d} = \frac{25.5 \text{ mm}}{4.56 \text{ mm}} = 5.6$$

Para calcular el valor de β_{Lim} es necesario determinar la resistencia de cálculo a fluencia del clavo:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s, \text{ donde } \gamma_s = 1.1$$

También es necesario calcular la resistencia de cálculo al aplastamiento de la madera:

$$f_{e0,d} = f_{e0,k} / \gamma_w, \text{ donde } \gamma_w = 1.4$$

Donde $\gamma_w = 1.4$ es el coeficiente de minoración de las propiedades de la madera.

También se sabe que: $f_{yk} = 631.52 \text{ N/mm}^2$ y $f_{e0,k} = 17.33 \text{ N/mm}^2$

Las resistencias de diseño las se calculan de la siguiente manera:

$$f_{yd} = \frac{631.52 \text{ N/mm}^2}{1.1} = 574.11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{e0,d} = \frac{17.33 \text{ N/mm}^2}{1.4} = 12.38 \text{ N/mm}^2$$

Se calcula: $\beta_{Lim} = 1.25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{e0,d}}} = 1.25 \sqrt{\frac{574.11}{12.38}} = 8.51$

Como: $\beta = 5.6 \leq \beta_{Lim} = 8.51$

Falla por aplastamiento, entonces usamos:

$$R_{vd,1} = 0.5 t d f_{e0,d} = (0.5)(25.5)(4.56)(17.33) = 1,007.57 \text{ N}$$

$$\left(\frac{1,007.57 \text{ N}}{9.81} \right) = 102.71 \text{ Kg}$$

Análogamente se obtienen los valores para uniones dobles con 6 y 8 clavos de **131.59 Kg** y **118.19 Kg** respectivamente. Ahora, para calcular los valores admisibles el reglamento Brasileño propone afectar el valor calculado por:

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3}$$

En donde:

K_{mod} : Coeficientes de modificación que afectan los valores de cálculo de las propiedades de la madera en función de la clase de carga de la estructura, del contenido de humedad, y del eventual empleo de madera de segunda calidad.

K_{mod1} : Coeficiente de modificación parcial que toma en cuenta la clase de carga y el tipo de material empleado.

Tabla 36: Kmod1.
 Fuente: Reglamento Brasileño.

CLASE DE CARGA	TIPOS DE MADERA	
	MADERA ASERRADA, MADERA LAMINADA ENCOLADA, MADERA CONTRACHAPADA	MADERA RECOMPUESTA
PERMANENTE	0.60	0.30
LARGA DURACIÓN	0.70	0.45
DURACIÓN MEDIA	0.80	0.65
CORTA DURACIÓN	0.90	0.90
INSTANTÁNEA	1.00	1.10

K_{mod2} : Coeficiente de modificación parcial que toma en cuenta el contenido de humedad y el tipo de material empleado.

Tabla 37: Kmod2.
 Fuente: Reglamento Brasileño.

CLASE DE HUMEDAD	MADERA ASERRADA, MADERA LAMINADA, ENCOLADA MADERA CONTRACHAPADA	MADERA RECOMPUESTA
(1) Y (2)	1.00	1.00
(3) Y (4)	0.80	0.90

K_{mod3} : El coeficiente parcial de modificación K_{mod3} , tiene en cuenta si la madera es de primera o segunda categoría. En el caso de madera de segunda categoría, se admite $K_{mod3} = 0,8$, y en el caso de primera categoría, $K_{mod3} = 1,0$. La condición de madera de primera categoría sólo podrá admitirse si todas las piezas estructurales se clasifican como exentas de defectos por medio de un método visual. En este caso la madera es de primera categoría, en consecuencia consideraremos que $K_{mod3} = 1.0$.

$$R_{adm,vd,1} = R_{vd,1} \cdot K_{mod}$$

$$R_{adm,vd,1} = R_{vd,1} \cdot K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3}$$

$$R_{adm,vd,1} = (102.71) \cdot (0.6)(1.0) \cdot (1.0) = 61.63 \text{ Kg}$$

En simple cizallamiento: $61.63 \text{ Kg}/2 = 31 \text{ Kg}$

Análogamente para las probetas de 6 y 8 clavos resultan **39 Kg** y **35 Kg** respectivamente.

Tabla 38: Cargas admisibles para un clavo sometido a simple cizallamiento según la NBR 1790.

Fuente: Propia.

PROBETAS CON:	CARGA ADMISIBLE EN Kg SEGUN LA NBR 7190
4 CLAVOS(DENSIDAD=320 Kg/m3)	31
6 CLAVOS(DENSIDAD=361 Kg/m3)	39
8 CLAVOS(DENSIDAD=342 Kg/m3)	35
PROMEDIO	35

La siguiente tabla muestra un resumen de las cargas admisibles experimentales y las obtenidas con las diferentes reglas de diseño para un clavo en cizallamiento simple

Tabla 39: Cuadro resumen de cargas admisibles para un clavo en cizallamiento simple.

Fuente: Propia.

NÚMERO DE CLAVOS	DENSIDAD EN Kg/m3	CARGA ADMISIBLE POR CLAVO Y EN SIMPLE CIZALLAMIENTO EN Kg				
		EXPERIMENTAL	EUROCÓDIGO 5	CIRSOC 601	NBR 7190	JUNAC
4 clavos	320	48	37	34	31	36
6 clavos	361	39	41	39	39	40
8 clavos	342	34	39	37	35	38
PROMEDIO		40	39	37	35	38

Tabla 40: Comparación porcentual entre las cargas en servicio promedio obtenidas con las diferentes reglas de diseño con respecto a las cargas admisibles experimentales. Fuente: Propia.

REGLA DE DISEÑO	PORCENTAJE
EUROCÓDIGO 5	98%
CIRSOC 601	93%
NBR 7190	88%
JUNAC	95%

A continuación se comparan la carga última de cinco especies madereras, incluida el Pashaco, todos los valores fueron extraídos del Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa), VOL III, Características Tecnológicas y Usos de la Madera de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, en este estudio se determinó la resistencia de uniones clavadas, para 27 especies seleccionadas en base a la densidad mediante ensayos a doble

cizallamiento y con carga paralela al grano, se emplearon 2 tipos de probetas, con 4 clavos cada una y con clavos de 2 1/2" y 4" de longitud.

En el siguiente gráfico se muestran las capacidades portantes que reporta el estudio anteriormente mencionado, es importante hacer notar que los ensayos se realizaron en estado seco y que se utilizó un factor de seguridad igual a 3.

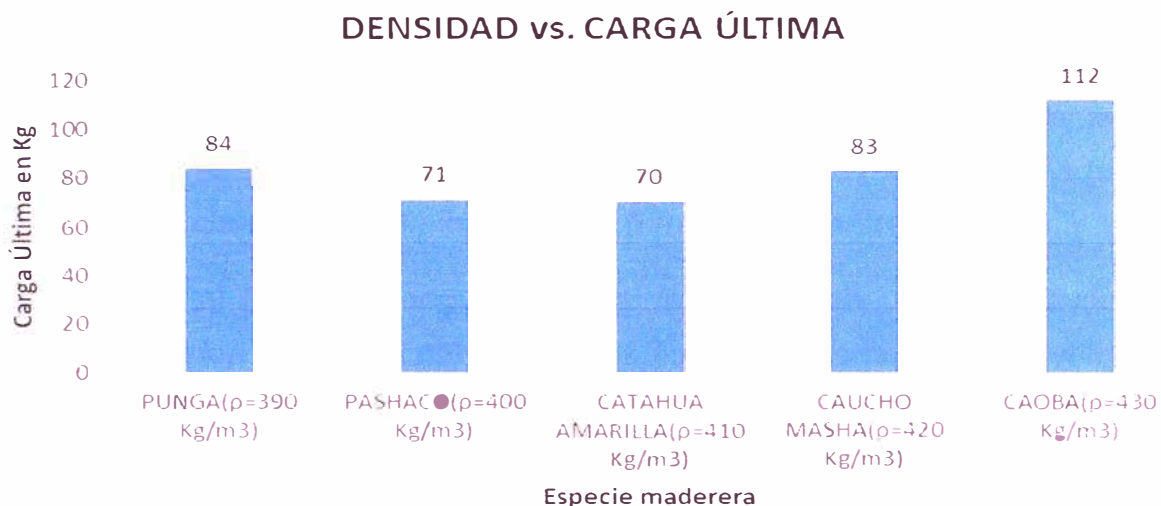


GRAFICO 1: Comparación de cargas últimas por clavo en cizallamiento simple de especies que tienen aproximadamente la misma densidad básica que el Pashaco.

Si se tiene en cuenta la carga última encontrada en este trabajo de investigación resulta que es el 93% de valor que muestra el Gráfico 1 para el Pashaco.

8 CONCLUSIONES

Se alcanzó un **valor característico promedio** para la carga última en un clavo en simple cizallamiento con carga paralela a la fibra igual a 230 Kg y para una **deformación de 0.38mm** una carga promedio igual 93 Kg.

El valor para la carga admisible para un clavo en cizallamiento simple que se ha encontrado en este trabajo de investigación en base a uniones clavadas sometidas a doble cizallamiento con carga paralela a la fibra construidas con madera Pashaco (*Albizzia sp*) fue 40 Kg y representa el 73% de la carga admisible que establece el RNE (55kg) para uniones clavadas con maderas del grupo C y con clavos de 4" de longitud y 4.5 mm de diámetro.

Con respecto al factor de seguridad que se utilizan en uniones clavadas, se comparó el valor promedio para la carga correspondiente a una deformación igual a 0.38mm experimental para un clavo en simple cizallamiento encontrado con las cargas admisibles encontradas con los distintos modelos estudiados y se encontró un valor promedio igual a 2.50.

Se comparó la carga admisible propuesta por la JUNAC (teórico) para uniones clavadas con la obtenida en base a los resultados experimentales y los factores de reducción propuestos por la Norma E.010 del RNE y alcanzó un 95%.

Si analizamos la simplicidad de las fórmulas para evaluar las capacidades portantes de las uniones clavadas sometidas a doble cizallamiento de los modelos planteados en esta investigación, se puede observar que el más sencillo de evaluar es el modelo peruano, el cual fue propuesto por la JUNAC, ya que solo toma en cuenta la densidad básica de la especie y el diámetro del clavo.

La fórmula que propone el Eurocodigo 5 para calcular la resistencia al aplastamiento para la especie objeto de este estudio interpreta adecuadamente el comportamiento mecánico, ya que aplicando la formula se encontró un valor promedio para la resistencia al aplastamiento igual a 27 MPa y el que se encontró mediante ensayos fue de 23 MPa; de la misma forma se puede decir que si se aplica la fórmula que propone el modelo argentino (CIRSOC 601) se obtiene 19 MPa para la resistencia al aplastamiento, con lo cual también se puede decir que se ajusta a la realidad.

9 RECOMENDACIONES.

Se recomienda definir primero los espesores de las piezas de madera con los que se desea trabajar para poder definir el diámetro del clavo, ya que estos están en función del diámetro del clavo.

Si bien es cierto que se proponen dimensiones mínimas para la fabricación de las probetas, es recomendable utilizar dimensiones mayores, para evitar rajaduras al momento del clavado o pretaladrado.

Se recomienda tener mucho cuidado al momento de realizar los ensayos para obtener la densidad básica de la especie objeto de estudio, de lo contrario se obtendrán valores con mucha variabilidad de las capacidades portantes de las uniones clavadas utilizando los diferentes modelos.

El Pashaco es una especie maderera cuyo precio en el mercado es uno de los más bajos, razón por la cual resulta ideal para el diseño de viviendas livianas y económicas. Entonces se recomienda seguir investigando más sobre esta especie y promover su utilización.

Se recomienda promover la construcción de viviendas livianas a escala natural en zonas donde existe producción de madera Pashaco.

Se recomienda implementar los equipos del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil para poder realizar ensayos de aplastamiento de un elemento de unión metálico sobre la madera así como para los ensayos de extracción, de tracción en clavos y para calcular el momento de plastificación de los mismos.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), Projeto de estruturas de madeira NBR 7190-1997, Rio de Janeiro. 1997.
2. Allende Gardella Jorge J., Propiedades físico-mecánicas, resistencia a las cargas laterales en uniones clavadas de la Capirona-Capirona Negra, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, UNI-FIC, Lima. (1971).
3. ASTM (American Society for Testing and Material), Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood ASTM D1761-2014, USA, 2015.
4. Cámara Nacional Forestal, SERFOR, Cartilla de Precios de Productos y Servicios Forestales, Lima, 2016.
5. Canales Montes Juan Abdón, Resistencia Lateral en uniones clavadas de las especies forestales: cumala blanca (*virola sp*) y copaiba (*copaifera officinalis*), Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, UNI-FIC, Lima (1976).
6. CIRSOC 601 (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles), Reglamento Argentino de Estructuras de madera, Buenos Aires, 2013.
7. Corporación Chilena de Maderas CORMA, Construcción de Viviendas en Madera-Unidad 7: Fijaciones y Uniones, Chile (2003).
8. Domínguez Lorenzo Manuel, Estudio de Uniones en Estructuras de Madera con uso de Elementos Clavija, Tesis Doctoral, Zamora 2015.
9. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, MADERA. Método para determinar la densidad, NTP 251.011.2014.
10. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, MADERA. Métodos para determinar el contenido de humedad, NTP 251.010.2014.
11. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, MADERA. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano, NTP 251.013.2015.
12. García Mucha Andrés Alfredo, Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Tornillo, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, UNI, Lima, 2012.

13. Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, Lima, 3ª Edición Preliminar Corregida (1984).
14. Lazarte Farfán José, Estudio de Mercado de Especies Seleccionadas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 1998.
15. Menacho Caro Germán Vicente, Uso de Tirafones en Uniones Estructurales con la Especie de Madera Cachimbo-Cariniana Domesticata, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, UNI, Lima, 2010.
16. M.S. Antonio Aróstegui V., Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa) Vol. III, Características Tecnológicas y usos de la Madera de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 1975.
17. Miyashiro Miyagui Augusto, Investigación de las propiedades físico-mecánicas y uniones clavadas de la madera, symphonia globurifera, al estado húmedo y seco, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, UNI-FIC, Lima (1970).
18. Nájera Luna J. A., Esfuerzo de extracción de clavos y tornillos para madera en cuatro especies de pino de Durango, México, Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2014.
19. Paredes Palomino Claudia Elizabeth, Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Quinilla Colorada(Manilkara Bidentada), Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, UNI, Lima-Perú, 2006.
20. Sosa Zitto María Alexandra, Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de Eucalyptus grandis cultivado en Argentina, Tesis presentada para optar al grado de doctor en ingeniería, mención materiales, Concepción del Uruguay, República Argentina, 2015.
21. UNE-EN 1380, Estructuras de Madera, Métodos de ensayo, Uniones estructurales con clavos tornillos, clavijas y pernos, Madrid, 2009.
22. UNE-EN 14358, Estructuras de Madera, Determinación y verificación de los valores característicos, Madrid, 2016.

23. UNE-EN 26891, Estructuras de Madera, Uniones realizadas con elementos de fijación mecánica, Madrid, 1992.

11 LISTA DE REFERENCIAS.

1. Herrera, G.F. (2016). Clasificación Estructural de la madera Pashaco (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
2. Sosa, M.A. (2015). Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de *Eucalyptus grandis* cultivado en Argentina. (tesis doctoral). Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, República Argentina.
3. Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, Lima (1984).
4. Pérez Galaz, Vicente Antonio. Uniones Clavadas para Construcciones en Madera. (Informe Técnico). Santiago, 1978.
5. Sánchez, m. (2016). ¿Qué es la duración de las cargas en la madera? [Blog] the cambium design. Available at: <http://www.thecambiumdesign.com/the-cambium-design-blog/estructuras-madera/duracion-cargas-estructuras-de-madera/> [Accessed 16 Nov. 2017].
6. Lazarte Farfán, José. Estudio de Mercado de Especies Seleccionadas, Volumen II. Productos Evaluados. Lima, 1998.
7. Aróstegui, A. Sato, A., González, V. Valenzuela, W., Lao, M. Estudio Tecnológico de Maderas de Perú Vol. III, Características Tecnológicas y usos de la Madera de 40 Especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, Lima, 1975.
8. Bruna B. Maia, Jorge L. N. Góes. Resistência de Ligações Pregadas em madeira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
9. Domínguez Lorenzo Manuel, Estudio de Uniones en Estructuras de Madera con uso de Elementos Clavija, Tesis Doctoral, Zamora 2015.
10. Vila Meneses, Mariano; Meléndez Cárdenas, Miguel. Cizallamiento para uniones con clavos de caña lisa y helicoidal en maderas de Bombacaceae. Universidad Agraria la Molina. Lima. 2016.

12 ANEXOS

ANEXO A

UNIONES DOBLES.4CLAVOS. d=4.56mm.(CARGA PARALELA A LAS FIBRAS)						
PROBETA	ESPEORES (mm)			DENSIDAD	HUMEDAD	CARGA DE ROTURA
	t1	t2	t3	Kg/m3	%	Fmáx (Kg)
M-1	26	51	30	400	14.09	2374
M-2	26	51	30	410	14.49	2299
M-3	26	51	30	530	14.92	2588
M-4	26	51	30	510	14.18	2254
M-5	26	51	30	390	14.50	2676
M-6	26	51	30	390	14.09	2564
M-7	26	51	30	420	14.05	2332
M-8	26	51	30	400	14.23	3252
M-9	26	51	30	430	13.56	2474
M-10	26	51	30	420	14.09	3083
M-11	26	51	30	310	15.07	2763
M-12	26	51	30	350	14.39	3623
M-13	26	51	30	320	13.61	2391
M-14	26	51	30	350	14.09	2774
M-15	26	51	30	380	13.93	3169
M-16	26	51	30	390	14.04	3555
M-17	26	51	30	440	14.41	4049
M-18	26	51	30	440	13.90	2764
M-19	26	51	30	350	13.92	2764
M-20	26	51	30	350	13.67	3392
M-21	26	51	30	340	14.03	2722
M-22	26	51	30	330	14.25	2397
M-23	26	51	30	440	14.81	2854
M-24	26	51	30	410	13.86	2490
M-25	26	51	30	430	13.74	2877
M-26	26	51	30	390	14.53	2877
M-27	26	51	30	380	13.70	3476
M-28	26	51	30	320	14.19	2848
M-29	26	51	30	330	14.25	2217
M-30	26	51	30	410	15.01	2810
M-31	26	51	30	420	13.64	2771
M-32	26	51	30	470	14.04	2693
M-33	26	51	30	340	13.64	2305
M-34	26	51	30	380	14.05	2092
M-35	26	51	30	430	13.94	2702
M-36	26	51	30	390	13.77	2647
M-37	26	51	30	340	14.38	2556
M-38	26	51	30	390	13.57	3704
M-39	26	51	30	380	14.67	2772
M-40	26	51	30	350	14.06	2930

ANEXO B

UNIONES DOBLES.6CLAVO. d=4.56mm.(CARGA PARALELA A LAS FIBRAS)						
PROBETA	ESPEORES (mm)			DENSIDAD	HUMEDAD	CARGA DE ROTURA
	t1	t2	t3	Kg/m3	%	Fmáx (Kg)
M-1	26	51	30	426	14.93	3088
M-2	26	51	30	437	15.36	2761
M-3	26	51	30	564	15.81	3694
M-4	26	51	30	543	15.03	3263
M-5	26	51	30	415	15.37	4222
M-6	26	51	30	415	14.94	4103
M-7	26	51	30	447	14.89	3722
M-8	26	51	30	426	15.08	3127
M-9	26	51	30	458	14.38	4357
M-10	26	51	30	447	14.93	3433
M-11	26	51	30	330	15.97	3452
M-12	26	51	30	373	15.25	3376
M-13	26	51	30	341	14.42	4059
M-14	26	51	30	373	14.93	4364
M-15	26	51	30	405	14.77	3715
M-16	26	51	30	415	14.88	4400
M-17	26	51	30	469	15.27	3101
M-18	26	51	30	469	14.74	3276
M-19	26	51	30	373	14.76	4026
M-20	26	51	30	373	14.49	3133
M-21	26	51	30	362	14.87	2846
M-22	26	51	30	351	15.10	4064
M-23	26	51	30	469	15.70	3460
M-24	26	51	30	437	14.70	2661
M-25	26	51	30	458	14.56	3756
M-26	26	51	30	415	15.40	2543
M-27	26	51	30	405	14.52	3609
M-28	26	51	30	341	15.04	3501
M-29	26	51	30	351	15.10	3727
M-30	26	51	30	437	15.91	2905
M-31	26	51	30	447	14.45	3619
M-32	26	51	30	501	14.89	2812
M-33	26	51	30	362	14.45	3135
M-34	26	51	30	405	14.90	3613
M-35	26	51	30	458	14.78	2714
M-36	26	51	30	415	14.60	3407
M-37	26	51	30	362	15.24	4218
M-38	26	51	30	415	14.38	4035
M-39	26	51	30	405	15.55	2543
M-40	26	51	30	373	14.91	2812

ANEXO C

UNIONES DOBLES.8CLAVOS. d=4.56mm.(CARGA PARALELA A LAS FIBRAS)						
PROBETA	ESPEORES (mm)			DENSIDAD	HUMEDAD	CARGA DE ROTURA
	t1	t2	t3	Kg/m ³	%	Fmáx (Kg)
M-1	26	51	30	423	13.88	4068
M-2	26	51	30	433	14.27	4921
M-3	26	51	30	560	14.70	4417
M-4	26	51	30	539	13.96	4454
M-5	26	51	30	412	14.28	4393
M-6	26	51	30	412	13.88	4543
M-7	26	51	30	444	13.84	5515
M-8	26	51	30	423	14.01	3946
M-9	26	51	30	454	13.36	3326
M-10	26	51	30	444	13.88	5402
M-11	26	51	30	328	14.84	3429
M-12	26	51	30	370	14.18	4544
M-13	26	51	30	338	13.40	5155
M-14	26	51	30	370	13.88	4826
M-15	26	51	30	401	13.72	4919
M-16	26	51	30	412	13.83	4578
M-17	26	51	30	465	14.19	4442
M-18	26	51	30	465	13.70	5939
M-19	26	51	30	370	13.72	5047
M-20	26	51	30	370	13.46	5244
M-21	26	51	30	359	13.82	5524
M-22	26	51	30	349	14.03	4781
M-23	26	51	30	465	14.59	4423
M-24	26	51	30	433	13.66	4073
M-25	26	51	30	454	13.53	5073
M-26	26	51	30	412	14.31	5392
M-27	26	51	30	401	13.49	4740
M-28	26	51	30	338	13.97	6114
M-29	26	51	30	349	14.03	4598
M-30	26	51	30	433	14.78	5494
M-31	26	51	30	444	13.43	3437
M-32	26	51	30	497	13.83	5784
M-33	26	51	30	359	13.43	5326
M-34	26	51	30	401	13.84	5120
M-35	26	51	30	454	13.74	4705
M-36	26	51	30	412	13.57	6985
M-37	26	51	30	359	14.17	3757
M-38	26	51	30	412	13.36	4314
M-39	26	51	30	401	14.45	4112
M-40	26	51	30	370	13.85	4102

ANEXO D



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES FAX 349 2041 TEF 349 5847 / 349 5669. Anexo 203
APOD 456 LA MOLINA LIMA PERU



CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con el estudio anatómico efectuado, las muestras de madera proporcionada por el alumno ATILIO CORRALES PORRAS con código UNI N° 19940311D, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, empleada en su trabajo de tesis titulado: "Uniones Estructurales Clavadas con Madera Pashaco; corresponden a:

<u>Muestra</u>	<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
1	Pashaco	<i>Albizzia sp.</i>	Fabaceae
2	Pashaco	<i>Albizzia sp.</i>	Fabaceae

Atentamente,

Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera



La Molina, 08 de setiembre de 2017

ANEXO E



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI
Oficina Central de Economía y Finanzas
UNIDAD DE TESORERÍA
DOMICILIO FISCAL:
Av. Tupac Amaru N° 210 - Rimac - Lima - Lima
TELEF: 462-5072

R.U.C.: 20169004359

BOLETA DE VENTA
ELECTRÓNICA

N° B004 - 00032242

SEÑOR(ES) : CORRALES PORRAS ATILIO	FECHA EMISIÓN : 2017-10-10
DUI : 10133753	TIPO MONEDA : SOLES
PRE SUPUESTO : SS. LABORATORIO DE QUIMICA INORGANICA	MEDIO PAGO : Efectivo
DEPENDENCIA : CIENCIAS LAB. DE INVESTIGACION Y CERTIFICACIONES (LABIGER)	

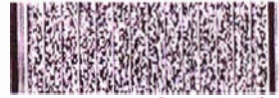
ITEM	CANT.	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDA MEDIDA	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO	VALOR DE VENTA
1	1.00	13392302	ANALISIS LABORATORIO - FACULTAD	UNI	120.00	120.00	120.00

OP. GRAVADAS	OP. INAFECTAS	OP. EXONERADAS	ANTICIPOS	I.G.V. 18%	TOTAL A PAGAR
120.00	0.00	0.00	0.00	18.31	120.00

SON: CIENTO VEINTE CON 00/100 SOLES

Incorporado al Régimen de Agentes de Retención de IGV (R.S. 135-2002) a partir del 01/11/2002

NOTA:



Representación impresa de la Boleta de Venta Electrónica
Podrá ser consultado en <http://www.ocef.uni.edu.pe/webComprobantes>
Autentizado mediante Resolución de Intendencia N° 032005300022/SU/AT

INFORMACION ADICIONAL

ELABORADO POR: rchavez

ANEXO F



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (LABORATORIO N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN

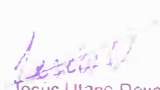
LABICER


INFORME TÉCNICO N° 1455 – 17 – LAB. 12

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ATILIO CORRALES PORRAS
 - 1.2 DNI : 10133753
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 10 / 10 / 2017
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 13 / 10 / 2017
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 16 / 10 / 2017
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CLAVOS CON CABEZA DE 4 PULGADAS Y DE VASTAGO LISO (CLAVO DE CONSTRUCCIÓN)
 - 4.2 TESIS : UNIONES ESTRUCTURALES CLAVADAS EN MADERA PASHACO
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.1 °C. Humedad relativa: 63%
7. EQUIPO UTILIZADO : MAQUINA DE TRACCIÓN AMSLER 30 TN
8. RESULTADOS

ANÁLISIS	REPETICIÓN	DIÁMETRO (mm)	FUERZA (KN)	RESULTADO (MPa)
Resistencia a la tracción	1	4.55	14.65	901.0
	2	4.56	14.62	895.2
	3	4.55	14.70	904.1

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Jesús Ulano Reyes
Analista Químico
LABICER - UNI


MSc Otilia Aguirre de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.