

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO EN UNIONES CLAVADAS
DE LA ESPECIE FORESTAL PASHACO (Albizzia sp.)”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ

ASESOR

MSc. ISABEL MOROMI NAKATA

LIMA- PERÚ

2021

ÍNDICE

ÍNDICE	1	
RESUMEN	4	
ABSTRACT	6	
PRÓLOGO	8	
LISTA DE TABLAS	9	
LISTA DE FIGURAS	12	
LISTA DE GRÁFICOS	14	
1	CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1	GENERALIDADES.	15
1.2	REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo General	16
1.3.2	Objetivos Específicos.	16
2	CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.	17
2.1	MADERA.	17
2.1.1	ESTRUCTURA ANATOMICA DE LA MADERA.	17
2.1.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA.	18
2.1.3	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.	19
2.2	MADERA PASHACO	20
2.2.1	Anatomía de Pashaco	21
2.2.2	Propiedades físicas y mecánicas de la madera Pashaco.	22
2.3	CLAVOS.	24
2.4	UNIONES CLAVADAS.	26
2.4.1	Antecedentes de uniones clavadas.	26
2.5	ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO DE UNIONES CLAVADAS.	27
2.5.1	Contenido de Humedad.	27
2.5.2	Densidad básica.	28
2.5.3	Resistencia a simple cizallamiento en uniones Clavadas.	29
2.5.4	Resistencia a doble cizallamiento en uniones Clavadas.	29

2.6	ENSAYOS COMPLEMENTARIOS DEL CLAVO Y LA RELACIÓN CLAVO MADERA	33
2.6.1	Tracción del clavo	34
2.6.2	Aplastamiento de la madera debido al clavo	34
2.6.3	Extracción del clavo	36
2.7	EXPRESIONES DE CÁLCULO ESTADÍSTICO.	39
2.8	UNIONES CLAVADAS RECOMENDADO POR LA JUNAC.	40
2.9	UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA EUROPEA (EUROCODIGO 5)	42
2.10	UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA BRASILEIRA (NBR 7190)	53
2.11	UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA ARGENTINA (CIRSOC 601).	57
2.12	UNIONES CLAVADAS CONSIDERANDO LA CARGA A 0.38MM DE DEFORMACIÓN SEGÚN CODIGO DE LOS EE.UU. (USDA)	64
3	CAPÍTULO III: ENSAYOS EXPERIEMETALES DE LABORATORIO PARA OBTENER LOS VALORES ADMISIBLES DE UNIONES CLAVADAS	65
3.1	PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE UNIONES CLAVADAS	65
3.2	ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNIONES CLAVADAS	71
3.2.1	Ensayo de Uniones clavadas a Doble Cizallamiento por tipo de clavo	71
3.3	ENSAYO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UNIONES CLAVADAS	81
3.3.1	Ensayo de Contenido de humedad	81
3.3.2	Ensayo de densidad Básica	89
3.4	ENSAYOS COMPLEMENTARIOS	96
3.4.1	Ensayo de tracción del clavo	96
3.4.2	Ensayo aplastamiento de la madera debido al clavo	97
3.4.3	Ensayo de extracción del clavo	100
4	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
4.1	CÁLCULO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE UNIONES CLAVADAS	103
4.1.1	Análisis estadístico de uniones clavadas	103
4.1.2	Resistencia a doble cizallamiento en uniones con clavos de 2", 2 1/2" y 3"	105
4.1.3	Resistencia a simple cizallamiento en uniones con clavos de 2", 2 1/2" y 3"	107
4.2	RESULTADOS DE ENSAYOS COMPLEMENTARIOS	108
4.2.1	Tracción del clavo	108
4.2.2	Aplastamiento de la madera debido al clavo	109
4.2.3	Extracción del clavo	110
4.3	CÁLCULOS TEÓRICOS DE UNIONES CLAVADAS	112
4.3.1	Resistencia a doble cizallamiento según JUNAC	113

4.3.2	Resistencia a doble cizallamiento según EUROCODIGO 5	115
4.3.3	Resistencia a doble cizallamiento según NBR 7190	118
4.3.4	Resistencia a doble cizallamiento según CIRSOC 601	120
4.3.5	Resistencia a doble cizallamiento según la (USDA)	123
4.3.6	Resumen de cargas admisibles	124
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	125
5	CONCLUSIONES	131
6	RECOMENDACIONES	133
7	REFERENCIAS	134
8	BIBLIOGRAFÍA	136
9	ANEXOS	138

RESUMEN

La presente Tesis se desarrolló con la finalidad determinar la resistencia a doble cizallamiento de uniones clavadas de la especie forestal Pashaco (*Albizia sp.*), la especie maderable Pashaco tiene como nombre científico *Albizia sp* y corresponde a la familia Fabaceae. Para determinar la resistencia a doble cizallamiento de las uniones clavadas, se elaboraron probetas, donde se utilizó clavos de uso comercial como son: clavos de 2" y 2.76mm de diámetro; clavos de 2 ½" y 3.38mm de diámetro; así como también clavos de 3" y 3.78mm de diámetro. Se fabricó 120 probetas, elaboradas en 3 grupos, resultando 40 probetas por cada clavo diferente. En cada tipo probeta se hincó 4 clavos en dirección perpendicular tanto a las fibras de la madera, así como a la dirección de la aplicación de la carga, El espesor total de la probeta fue igual a la longitud total del clavo, generalmente en construcción se usa madera seca y son en estas condiciones donde las piezas de madera admiten mayores solicitaciones de carga, razón por la cual la condición en las que se ensayó las uniones clavadas en madera Pashaco fueron en estado seco.

Siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D1761 se desarrolló los ensayos experimentales en las uniones clavadas donde se aplicó una carga que se reparte en dos planos de corte "doble cizallamiento" y dividiendo entre dos se obtuvo los valores de resistencia a simple cizallamiento. En la búsqueda de los esfuerzos admisibles se considera dos formas de cálculo, para cada ensayo se determinaron las cargas correspondientes a 0.38mm de deformación y para cargas últimas que se observan en el comportamiento de la curva Carga vs deformación de las Uniones clavadas. Además, se usó los factores de reducción recomendados por el Manual de diseño de maderas formulado por el grupo andino que es la base de nuestro reglamento de maderas E.010

Los resultados experimentales de las uniones clavadas en la especie maderable Pashaco en promedio representan el 84% de los valores de la Norma E.010 del RNE. Además, estos resultados experimentales se compararon con los resultados de cálculo teórico propuestos por reglamentos de diseño como la (JUNAC) en nuestro País, la norma Europea (EUROCÓDIGO 5), la norma Argentina (CIRSOC 601), la norma Brasileña (NBR 7190) y la Americana (USDA) donde este último es un modelo tradicional que tiene mayor afinidad con la propuesta de la JUNAC.

Como resultado de la comparación, los Valores de diseño admisibles de las tres uniones clavadas para cada reglamento en promedio representan el 99% para el EUROCÓDIGO 5, el 96% para la USDA, el 84% para la JUNAC, el 70 % para la CIRSOC 601 y el 69% para la NBR7190 respecto a los valores admisibles experimentales del Laboratorio.

ABSTRACT

This thesis was developed with the purpose of determining the resistance to double shear of nailed joints of the forest species Pashaco (*Albizzia* sp.). The timber species Pachaco has the scientific name *Albizzia* sp and corresponds to the Fabaceae family. To determine the double shear resistance of the nailed joints, test pieces were made, where commercial nails were used, such as: 2" and 2,76 mm diameter nails; 2 ½ " 3,38 mm diameter nails; as well as 3" and 3,78 mm diameter nails. 120 test pieces were manufactured, elaborated in 3 groups, resulting in 40 test pieces for each different nail. In each type of test piece, 4 nails were driven in a perpendicular direction both to the wood fibers as well as to the direction of the application of the load. The total thickness of the specimen was equal to the total length of the nail. Generally, in construction, dry wood is used, and in these conditions, it is where the pieces of wood admit greater load requirements. For this reason, the condition in which the joints nailed in Pashaco wood was in a dry state.

Following the guidelines of the ASTM D1761 standard, the experimental tests were developed in the nailed joints where a load that is distributed in two "double shear" cutting planes was applied, and dividing by two, the values of resistance to simple shear were obtained. In the search for the admissible stresses, two forms of calculation are considered. For each test, the loads corresponding to 0,38 mm of deformation and for ultimate loads that are observed in the behavior of the Load vs deformation curve of the nailed joints were determined. In addition, the reduction factors recommended by the Wood Design Manual, formulated by the Andean group that is the basis of our E.010 wood regulation, were used.

The experimental results of the nailed joints in the Pashaco timber species, on average, represent 85 % of the values of Standard E.010 of the RNE. In addition, these experimental results were compared with the theoretical calculation results proposed by design regulations such as (JUNAC) in our country, the European standard (EUROCODE 5), the Argentine standard (CIRSOC 601), the Brazilian standard (NBR 7190) and the American (USDA) where the latter is a traditional model that has a greater affinity with the JUNAC proposal.

Because of the comparison, the Allowable Design Values of the three nailed joints for each regulation on average represent 99 % for EUROCODE 5, 96 % for USDA,

84 % for JUNAC, 70 % for CIRSOC 601 and 69 % for NBR7190 with respect to the laboratory's experimental admissible values.

PRÓLOGO

En los últimos años, se ha venido realizando estudios con el fin de incluir especies de madera de densidades menores de 0.40 g/cm^3 en la Norma de Diseño y Construcción con Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Para ello se han realizado estudios para la Clasificación estructural de varias especies y se viene complementando con estudios de uniones, necesarios para el diseño de los proyectos de construcción con estas especies.

Se han realizado estos estudios con varias especies y también con la especie Pashaco, sin embargo, se requiere completarlos con otros ensayos y otras variables, que es el objetivo de la presente tesis.

Sus resultados contribuirán a la información existente a la fecha y actualizarla para su incorporación a la Norma de Diseño y Construcción vigente.

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata

Asesora

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas de la madera Pachaco.....	22
Tabla 2: Propiedades física-mecánicas de la madera Pashaco.	23
Tabla 3: Valores de resistencia en uniones clavadas con madera Pashaco.	24
Tabla 4: Resultados de laboratorio de ensayos de resistencia a la tracción (clavos de 2", 2 ½" y 3") Fuente: Informes técnicos de LABICER-UNI	34
Tabla 5: Geometrías de probetas del ensayo de aplastamiento en función del diámetro,	36
Tabla 6: Factores de reducción para cargas admisibles según JUNAC.	41
Tabla 7: Esfuerzos de rotura por tipos o modos de falla del modelo de Johansen.....	44
Tabla 8: Capacidad portante Propuestos por el Eurocódigo de acuerdo a los modos de falla de la unión clavada.	45
Tabla 9: Distancias mínimas recomendado por el Eurocódigo en las uniones clavadas.	47
Tabla 10: Tipos de duración de carga según su uso.	51
Tabla 11: Valores factores de modificación K_{mod}	52
Tabla 12: Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M	52
Tabla 13: Definición de Clases de carga y valores de K_{mod1}	55
Tabla 14: Clases de humedades según NBR 7160.....	55
Tabla 15: Valores del coeficiente de modificación K_{mod2} según NBR 7190	55
Tabla 16: Expresiones de capacidad portante correspondientes a los modos de rotura según la Norma CIRSOC 601	58
Tabla 17: Coeficientes de Reducción (R_d) según Norma CIRSOC 601	60
Tabla 18: Tabla de Factores de duración de la carga (CD) según Norma CIRSOC 601.	61
Tabla 19: Tabla de Factores de condición de servicio (CM) según Norma CIRSOC 601.	62
Tabla 20: Tabla de Factores de temperatura (Ct) según Norma CIRSOC 601.	62
Tabla 21: Coeficientes para calcular las cargas de prueba para uniones clavadas en madera seca según USDA	64
Tabla 22: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo A (Uniones con clavos de 2")	78
Tabla 23: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo B (Uniones con clavos de 2 ½ ").....	79
Tabla 24: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo C (Uniones con clavos de 3")	80
Tabla 25: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo A (Uniones con clavos de 2").....	86

Tabla 26: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo B (Uniones con clavos de 2 ½").....	87
Tabla 27: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo C (Uniones con clavos de 3").....	88
Tabla 28: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo A (Uniones con clavos de 2")	93
Tabla 29: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo B (Uniones con clavos de 2 ½")	94
Tabla 30: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo C (Uniones con clavos de 3")	95
Tabla 31: Cargas de Tracción del clavo proporcionados por LABICER	97
Tabla 32: Valores del esfuerzo de fluencia de los clavos	97
Tabla 33: Resultados de laboratorio. Cargas máximas de aplastamiento de la madera a causa de los clavos de (2", 2 ½" y 3").....	100
Tabla 34: Resultados de Laboratorio. Cargas máximas de extracción registrada para probetas con clavos de (2", 2 ½" y 3").....	102
Tabla 35: Calculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 2" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.	104
Tabla 36: Calculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 2 ½" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.	104
Tabla 37: Calculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 3" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.	105
Tabla 38: Consolidado de las cargas promedio y los valores característicos para cargas a una deformación igual a 0.38mm y cargas últimas (4 clavos).	105
Tabla 39: Resistencias a doble cizallamiento factorados según el tipo de falla en la madera (Acción en 4 clavos)	106
Tabla 40: Valores admisibles de resistencia a doble cizallamiento por un clavo en uniones clavadas para una deformación de 0.38mm, para los 3 tipos de Uniones.	106
Tabla 41: Valores admisibles de resistencia por clavo a doble cizallamiento en uniones clavadas aplicadas a cargas últimas para los 3 tipos de Uniones.	106
Tabla 42: Valores admisibles de resistencia por clavo a simple cizallamiento en uniones clavadas para una deformación de 0.38mm en las 3 Uniones clavadas.	107
Tabla 43: Valores admisibles de resistencia por clavo a simple cizallamiento en uniones clavadas para cargas últimas para los 3 tipos de Uniones.	107
Tabla 44: Valores promedios y característicos de la Tracción del clavo	108
Tabla 45: Resultados de cálculo de la resistencia a la tracción de los 3 tipos de clavos	109
Tabla 46: Valores promedios y característicos del aplastamiento de la madera.	109

Tabla 47: Resultados de cálculo de la resistencia al aplastamiento de los 3 tipos de clavos (2", 2 ½" y 3").....	110
Tabla 48: Valores promedios y característicos de la extracción del clavo.....	110
Tabla 49: Resultados de cálculo de la resistencia a la extracción de los clavos (2", 2 ½" y 3") de los ensayos de laboratorio	111
Tabla 50: Resultados de cálculo de la fuerza de extracción del clavo aplicado a nuestras probetas de uniones clavadas.....	111
Tabla 51: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la JUNAC	114
Tabla 52: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según el EUROCÓDIGO 5.....	117
Tabla 53: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la Norma Brasileira NBR 7190.....	119
Tabla 54: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la norma Argentina CIRSOC 601	122
Tabla 55: valores admisibles de diseño a simple cizallamiento considerando las cargas correspondientes a 0.38mm de deformación según la USDA	123
Tabla 56: Cuadro resumen de cargas de diseño por clavo en simple cizallamiento por cada tipo norma de diseño y para los 3 tipos de uniones clavadas.	124
Tabla 57: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 2"	126
Tabla 58: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 2 ½"	127
Tabla 59: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 3"	128
Tabla 60: Cargas admisibles de diseño de uniones clavadas por grupo de madera y tipo de clavo según la Norma E.010	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes principales del tronco del árbol	17
Figura 2: Direcciones de referencia para la madera	19
Figura 3: Características de identificación macroscópica de la madera Pashaco. Proyecto: Utilización Industrial y Mercado de Diez especies maderables potenciales de Bosques Secundarios y Primarios Residuales.	21
Figura 4: Partes del clavo.....	24
Figura 5: Espaciamiento mínimo y distancia al borde según la JUNAC.....	31
Figura 6: Espesores de las tablas de madera de la unión según la JUNAC.	31
Figura 7: Dimensiones de las probetas según la JUNAC. (Ref.7).....	32
Figura 8: Dimensiones de las probetas de aplastamiento respecto al centro del clavo A) paralelo a la fibra, por compresión; B) paralelo a la fibra, por tracción; C) perpendicular a la fibra, por compresión, espaciamentos según (UNE- EN 383, 2007)	36
Figura 9: Dimensiones y modelo de probeta antes de ser ensayada a Extracción Directa.	38
Figura 10: Modos de rotura posibles en una conexión de tipo clavija según el modelo de Johansen. Conexiones con una sección de corte (arriba), conexiones con dos secciones de corte (abajo).	43
Figura 11: Parámetros empleados para interpretar las distancias entre los clavos según el Eurocódigo.	47
Figura 12: Definición de t1 y t2. a) cortadura simple, b) cortadura doble.	48
Figura 13: Espesores de la piezas de las probetas a doble cizallamiento según NBR 7190	54
Figura 14: Uniones con una y dos secciones de corte según Norma CIRSOC 601.....	59
Figura 15: Maderera El Otorongo, inversiones L&F	66
Figura 16: Tablones de madera Pashaco (Albizia sp.).....	67
Figura 17: Piezas de madera Pachaco para uniones clavadas y otros ensayos.....	67
Figura 18: Geometría definida y distancia entre clavos para los tres tipos de uniones clavadas	69
Figura 19: Armado y clavado de las uniones.	70
Figura 20: Probetas a ensayar en el LEM-UNI.....	71
Figura 21: Maquina Universal AMSLER, 50 ton. de capacidad. Fuente: Elaborada por el autor.	73
Figura 22: Computadora con sistema de adquisición de datos PXI/SCXI.....	73
Figura 23: Sensor de compresión de carga, DINI ARGEO, 50 ton. de capacidad.	73
Figura 24: LVDT marca OMEGA, modelo LD320-50.	74

Figura 25: Sujetadores mecánicos con bloques magnéticos marca INZISE.	74
Figura 26: Armado e instalación de la probeta y los dispositivos LVDTs en la Maquina Universal	75
Figura 27: Regulación de la velocidad de la carga e inicio del ensayo de uniones clavadas.	75
Figura 28: Aplicación de la carga de compresión paralela a las fibras en la probeta tipo A (Unión clavada de 2" de longitud del clavo).....	76
Figura 29: Registro de datos en tiempo real en la computadora	76
Figura 30: Todas las probetas ensayadas, lado derecho de la imagen uniones con clavos de 2", al centro las de 2" 1/2 y al lado izquierdo las uniones de 3"	77
Figura 31: Desarmado de probetas sacando los clavos.	81
Figura 32: Corte de pieza central para contenido de Humedad.	81
Figura 33: Corte final de las piezas de 3 cm x 3 cm x 10 cm para contenido de humedad	82
Figura 34: Horno Eléctrico.....	83
Figura 35: Balanza electrónica, OHAUS de precisión +/- 0.5 g.....	83
Figura 36: Muestras para medir el contenido de humedad.	84
Figura 37: Peso húmedo y registro de cada muestra.	85
Figura 38: Secado de las muestras en el horno a 103 °C.....	85
Figura 39: Balanza, Probeta, sujetador mecánico y alambre.	89
Figura 40: Muestras Inmersas en agua destilada.	91
Figura 41: Peso del agua destilada en probeta graduada.....	91
Figura 42: Peso de cada muestra más el agua.	92
Figura 43: Máquina de tracción universal. ZWICK ROELL Z010	96
Figura 44: Probetas para ensayo de aplastamiento de distintos espesores: 10mm, 13mm y 15mm.....	98
Figura 45: Máquina universal, marca Zwick Roell del LEM-UNI con 100 ton. de capacidad.	98
Figura 46: Ensayo de aplastamiento de la madera debido al clavo.	99
Figura 47: Elaboración de probetas para ensayo de extracción de clavos.	100
Figura 48: Probetas y ensayo de extracción del clavo de 3"	101
Figura 49: Probetas de extracción ensayadas para clavos de 2" y 2 1/2"	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 2"	125
Gráfico 2: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 2 ½"	126
Gráfico 3: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 3"	127
Gráfico 4: Diagrama de barras, comparativo entre cargas admisibles Experimentales con los valores de la Norma E.010 para calvos de diámetro (2.76, 3.38 y 3.78 mm)	129

1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

La resistencia, estabilidad y la vida de una estructura o parte de ella, depende de la resistencia, rigidez y durabilidad de las uniones clavadas. El tipo, el tamaño y la disposición de las uniones toman como principio los lineamientos de la normativa a la cual acompaña la experiencia, sin embargo son esenciales datos específicos para el desarrollo de mejores métodos de construcción por ello el estudio de Uniones clavadas en madera es importante, en ese sentido el ingeniero debe contar con una diversidad de herramientas para plantear un diseño adecuado de la uniones, mientras que la parte de investigación se avala de estudios técnicos e información para proveer posibilidades y modelos para garantizar resistencia durabilidad y confianza de las uniones.

La norma peruana E.010 cuenta con valores de diseño que provienen de un estudio de especies maderables de la región Andina, es de gran ayuda práctica para diseño de uniones clavadas, estos estudios generales se pueden extender a más especies de madera no estudiada y así tener más opciones de uso donde se requiera menor valor de cargas de sollicitación

La unión clavada hace referencia a miembros o piezas de madera unidas, amarradas o sujetadas con clavos cuya selección se realizará de acuerdo a diversos factores geométricos de la pieza de la madera y a los requerimientos del uso de la estructura que se desea armar.

La resistencia de una unión clavada depende de las propiedades fundamentales de dos protagonistas, la madera y el clavo; la madera cuya densidad es fundamental para analizar, así como su espesor o la cantidad de piezas a unir y las propiedades mecánicas relacionadas a la unión clavada se abordan en esta investigación; así también del clavo de sección circular y caña lisa con su diámetro y su longitud se requiere saber su comportamiento mecánico para saber cuánto influye en la unión clavada. En el sentido de ese análisis distintos códigos de diseño han adoptado últimamente el empleo de la teoría de fluencia como el criterio básico para estudiar el comportamiento de las uniones clavadas, el cual es necesario investigar para tomar algunas consideraciones relevantes de estos modelos.

1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA

El País cuenta con una variedad de especies maderables, entre ellos la especie maderable Pashaco cuyas características faltan completar y que podría formar parte del grupo de maderas para uso estructural en la norma E010, siendo esta la necesidad que se quiere atender. De acuerdo a los estudios de clasificación estructural ya realizados y con poca información referente a uniones clavadas de la especie forestal Pashaco, es necesario investigar las uniones clavadas en la especie maderable mencionada.

Por otro lado desde 1950, se han desarrollado diversas investigaciones en diversos países con normas propias y también con normas internacionales, debido a las distintas prácticas constructivas, a los diferentes tipos de clavos y distintas especies madereras, se han usado varias teorías para explicar el comportamiento de las uniones clavadas. El resultado de ello es una gran variación en el diseño de las uniones, mayor que la que podría justificarse a través de los diferentes métodos de ensayo. Por ello se pretende conocer la diferencia respecto a nuestro código de diseño la norma E.010.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento estructural de las uniones clavadas en madera Pashaco (*Albizzia sp.*) realizando ensayos de resistencia al doble cizallamiento.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Obtener la resistencia a doble cizallamiento en uniones clavadas de la especie Pashaco (*Albizzia sp.*) para longitudes de clavos de 2", 2 ½" y 3".

Complementar la información existente de las propiedades mecánicas de la madera Pashaco para proponer su incorporación en la norma E 010 Madera (Reglamento Nacional de Edificaciones).

Comparar la resistencia a doble cizallamiento en uniones clavadas con distintos Códigos de diseño de otros Países.

2 CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 MADERA.

La madera es un material orgánico natural que tiene una estructura celular, fué usado por el hombre desde la antigüedad, para la construcción de viviendas, herramientas para cazar, fabricación de utensilios, etc. Gracias a una serie de propiedades como facilidad de conformado, bajo peso específico, agradable apariencia exterior, propiedades térmicas y mecánicas, esto ha generado una industria muy importante.

2.1.1 ESTRUCTURA ANATOMICA DE LA MADERA.

Estructura macroscópica de la madera (Ref. 1, pág 1-8)

A simple vista si se observa la sección del tronco de un árbol se puede distinguir las siguientes partes, ver **Figura 1**.

Corteza exterior, la que envuelve y protege al árbol; la corteza interior o líber que tiene la función de conducir el alimento hacia el interior; el cambium, que viene a ser la responsable del crecimiento del tronco y un conjunto de células que lleva el nombre de madera o xilema.

La madera o xilema está constituida por 3 partes: una de ella la albura que conduce el agua y sus minerales de las raíces a las hoja; el duramen, es la que provee resistencia para el soporte del árbol, por último la medula quien se encuentra en la parte central del tronco y está constituida por tejido parenquimatoso.

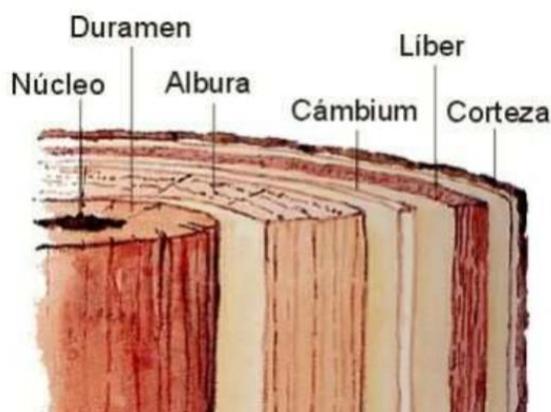


Figura 1: Partes principales del tronco del árbol

Estructura microscópica.

Por las características de sus células, la madera se divide en 2 grandes grupos:

Maderas Coníferas.

La estructura anatómica de la madera conífera es homogénea y esta a su vez la componen una gran proporción de elementos leñosos denominados traqueidas y una menor proporción de células de parenquima. (Ref. 8, Cap. 3-Pág. 6)

Maderas Latifoliadas.

La estructura anatómica de la madera Latifoliada es heterogénea, formado por 3 componentes: el primordial que son unas células alargadas llamadas fibras, también unos elementos de conducción del agua llamados Vasos y los parénquimas tanto en dirección radial como longitudinal, quienes cumplen la función de almacenar y distribuir nutrientes. (Ref. 8, Cap. 3-Pág. 7)

2.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA.

Contenido de Humedad

La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. En el proceso de secado de la madera primero se va retirando el agua libre, seguidamente el agua higroscópica, respecto al agua de constitución solo se pierde si se lleva a un estado carbonizado de la madera. La madera se presenta en 3 estados de acuerdo a su contenido de agua: verde, seco y anhidrido.

La forma de representar matemáticamente el contenido de humedad (CH) es mediante un porcentaje, como se muestra en la siguiente expresión.

$$CH\% = \frac{\text{Peso humedo} - \text{peso anhidrido}}{\text{Peso anhidrido}} \times 100$$

El peso anhidrido es conseguido mediante el uso de un horno a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ref. 6, Cap. 1-Pág. 15)

Densidad

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de la madera, que matemáticamente se expresa mediante un cociente. En general se distinguen cuatro densidades para una misma muestra de madera. Siendo la de mayor uso la densidad básica DB, que nos sirve para analizar las propiedades de la madera.

Y a la vez esta densidad es la que mejor representa en toda comparación de especies maderables. El cociente del peso seco de la madera PSH entre su volumen saturado o verde de la madera VV nos proporciona la densidad básica. (Ref. 7, Cap. 1-Pág. 17)

2.1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.

Reconocida las fibras o granos en la madera a esta se le asigna 3 direcciones perpendiculares entre sí, estas direcciones son la longitudinal, la tangencial, y la radial. En la **Figura 2**, puede observarse que la dirección radial y tangencial son perpendiculares la grano. En la práctica se consideran dos direcciones: la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano. (Ref. 6, Cap. 1-Pág. 21)

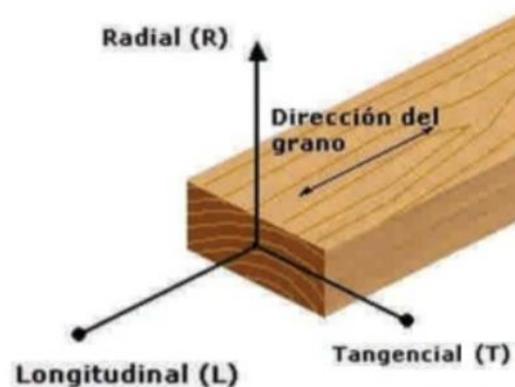


Figura 2: Direcciones de referencia para la madera

La madera es un material anisótropo debido a que las fibras que apuntan en una dirección consolidan una estructura definida, lo cual hace que sus propiedades mecánicas varíen según la dirección en la que son analizadas.

Las propiedades mecánicas más comunes de la madera son: la compresión perpendicular al grano, quien nos indica cuanto resisten las fibras de la madera a ser aplastadas por la acción de una fuerza perpendicular a dichas fibras; la compresión paralela al grano muestra como un conjunto de tubos alargados son presionados en la dirección del grano mostrando un comportamiento elástico; la propiedad mecánica de tracción perpendicular al grano es la que tiene menor resistencia; en cambio la tracción paralela al grano tiene mayor resistencia siempre que no tenga defectos en la madera. La propiedad de corte o cizallamiento de la madera, se presenta en 2 tipos de efectos según la dirección

de aplicación de la carga es el más débil el corte o cizallamiento paralelo al grano y el que más resiste es el corte o cizallamiento perpendicular al grano. Finalmente la propiedad de flexión de la madera que combina simultáneamente los comportamientos de tracción, compresión y corte, teniendo efectos en piezas de madera alargadas. (Ref. 8, Cap. 4-Pág. 7)

2.2 MADERA PASHACO

Nombre Científico de la madera

El estudio anatómico de la madera Pashaco a cargo del Ing. Forestal Manuel Chavesta Custodio (ver anexo B) quien certificó la identificación de la especie maderable en las instalaciones del laboratorio de anatomía de la madera de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), del cual finalmente se obtuvieron los siguientes resultados:

Nombre Científico: *Albizzia sp.*

Familia: Fabaceae

Nombre Común: Pachaco

Descripción de la madera

En condición seca al aire, la madera es de color blanco cremoso amarillento, la transmisión la transición de albura a duramen no cambia; se mancha azul por ataque de hongos. Los anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras irregulares de ancho variable. El grano, es oblicuo a entrecruzado. La textura mediana, de medio a ligeramente pronunciado y grueso. Veteado, Olor y sabor ausentes. (Ref. 1, pág 14)

Por lo general la altura del árbol tiene 30m, su diámetro se encuentra en el rango de 40 a 100 cm, tiene tronco recto de forma cilíndrica y un poco cónica, por fuera se observa una corteza de color marrón gris. La madera tiene una textura compacta, arenosa, ligeramente áspera, además tiene un espesor de 2 a 4 cm. La corteza interna es de color blanco, textura Lisa

2.2.1 Anatomía de Pashaco

Descripción Organoléptica de la madera Pashaco.

Se llama así a las características de la madera percibidas por nuestros sentidos y de acuerdo a ello la especie maderable Pashaco (**Figura 3**), tiene las siguientes características que se mencionan. (Ref. 9, pág 14)

Tiene un color crema con olor no distintivo, de brillo medio y grano entrecruzado, además presenta una textura gruesa con vetas de arcos superpuestos, la madera tiene una dureza blanda y es de peso liviano.



Figura 3: Características de identificación macroscópica de la madera Pashaco.
Proyecto: Utilización Industrial y Mercado de Diez especies maderables potenciales de Bosques Secundarios y Primarios Residuales.

Características Macroscópicas de la madera Pashaco

Su parénquima se identifica visualmente como aliformes confluentes.

Respecto a su porosidad fácilmente se observa: poros solitarios, múltiples radiales, difusa.

Y tiene radios o anillos de crecimiento que se observan a simple vista.

Características Microscópicas de la madera Pashaco.

Según el Estudio Tecnológico de maderas realizados en el Perú en la Zona de Pucallpa con el tema “Características Tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt”, a continuación, se presenta las características microscópicas de la madera Pashaco.

Los vasos o poros, son exclusivos solitarios 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.

2.2.2 Propiedades físicas y mecánicas de la madera Pashaco.

Propiedades físicas de la madera Pashaco.

Densidad Básica:

La densidad básica es el cociente del peso seco al horno y el volumen verde, de entre todas las densidades es la más usada, en la **Tabla 1** se observa la densidad básica según el estudio tecnológico de maderas del Perú de 40 especies estudiadas.

Tabla 1: Propiedades físicas de la madera Pashaco.
Fuente: (Ref. 2)

PROPIEDADES FÍSICAS-MECANICAS EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO (Albizia 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. VARIACIÓN
DENSIDAD BÁSICA (DB) g/cm ³	0.45	0.17	38

Propiedades Mecánicas del Pashaco.

Son aquellas propiedades que presenta la madera cuando interviene una Fuerza como agente externo, en la **Tabla 2** se muestra las propiedades mecánicas de la madera Pashaco.

Tabla 2: Propiedades física-mecánicas de la madera Pashaco.
Fuente: (Ref. 2)

PROPIEDADES FISICAS-MECANICAS EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO (Albizzia 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

Uniones clavadas de la madera Pashaco.

Según el estudio tecnológico de maderas del Perú se obtuvieron los resultados de resistencia a doble cizallamiento en probetas con 4 clavos cada una, estas probetas que se ensayaron en el estudio técnico fueron de dos tipos, uniones con clavos de 2 ½" de longitud y la otra con clavos de 4" de longitud.

De dicho estudio se muestra la carga lateral, el esfuerzo básico y el esfuerzo de diseño para uniones clavadas en la especie maderable Pashaco, observar la **Tabla 3.** (Ref. 2, Pág. 31)

Tabla 3: Valores de resistencia en uniones clavadas con madera Pashaco.
 Fuente: (Ref. 2)

UNIONES ESTRUCTURALES: CARGA LATERAL EN UNIONES CLAVADAS (CL) EN kg			
LONGITUD DE LOS CLAVOS	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	COEF. VARIACIÓN
CLAVOS DE 2 1/2"	942	627	75
CLAVOS DE 4"	1763	906	58
UNIONES ESTRUCTURALES: ESFUERZO BÁSICO (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	

2.3 CLAVOS.

El Clavo es un medio de unión muy común, este material pasa por un proceso de transformación provenientes del alambrión de acero trefilado, en ocasiones con acabados de protección galvanizada, son usados en carpintería y construcción, fija superficies de madera y todo tipo de trabajos relacionados, los clavos tienen cabeza, cuerpo y punta (**Figura 4**), cada una de estas partes en diferentes variedades. Las diferencias en estas tres secciones, permiten seleccionar el tipo de clavo más apropiado para un determinado trabajo.

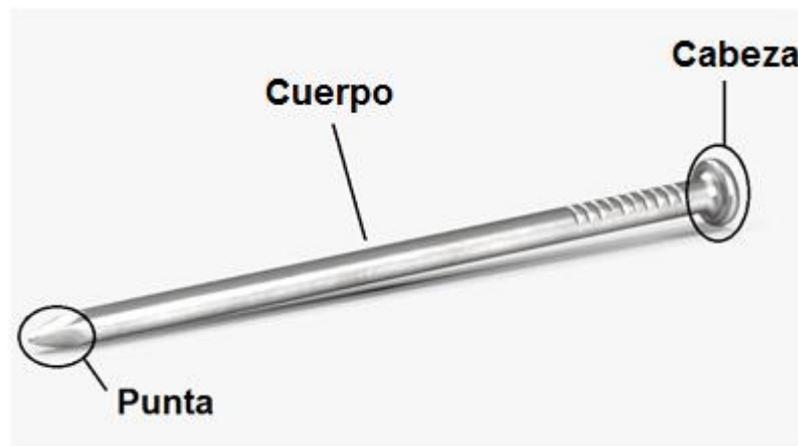


Figura 4: Partes del clavo

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

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

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

Características de los clavos.

Los clavos por el tipo de cuerpo se encuentran lisos, helicoidales, circulares, cuadrados, etc., cuyas propiedades de resistencia a la extracción varían según la rugosidad. Respecto a sus dimensiones geométricas es importante mencionar que los clavos tienen una relación de longitud y diámetro "l/d" alrededor de 20, Los clavos de punta larga y afilada proporcionan mayor resistencia que los clavos comunes, pero acentúan la propiedad del rajado. Los clavos despuntados reducen las rajaduras causando, sin embargo, destrucción en las fibras de la madera. Los clavos comunes nacionales son fabricados en base a alambroón. (Ref. 10, pág. 15)

Efectos del clavo en las Uniones Clavadas

Las maderas duras retienen mejor los clavos que las maderas suaves, sin embargo son más difíciles de clavar y tienen una gran tendencia al rajado (Ref. 10, pág. 21)

La resistencia a la extracción y al desplazamiento lateral resultan menores cuando los clavos hincados en la sección transversal de la madera por ello es preferible clavar en su sección longitudinal. La resistencia lateral depende de la resistencia del clavo a la fricción y que varía aproximadamente 1.5 veces con el diámetro. De igual modo la Rigidez, según Torres M. (Ref. 11, pág. 30)

La calidad del metal tiene un efecto pronunciado sobre la carga lateral, extendiéndose este efecto a la resistencia a la flexión. La resistencia lateral proporcionada por las uniones clavadas, la cual es afectada, además de las especies y dimensiones de las maderas, por el diámetro del clavo, la resistencia del clavo a la extracción y la calidad del metal. Concluye que la mayor carga lateral se obtiene con clavos de igual alta resistencia a la extracción. (Ref. 11, pág. 30)

2.4 UNIONES CLAVADAS.

El mayor problema en el diseño de las estructuras de madera es la solución de aquellos puntos en que convergen dos o más piezas (nudos), de modo que se puedan transmitir adecuadamente sus esfuerzos. Estas uniones deberán ser lo suficientemente rígidas como para que la deformación total de la estructura no exceda ciertos valores estimados como admisibles.

2.4.1 Antecedentes de uniones clavadas.

El clavo es uno de los materiales más sencillos y prácticos para unir maderas; tal como mencionan algunos autores, su empleo se inicia de forma empírica al rededor del siglo XVI y en la actualidad el estudio de uniones clavadas ha tenido mayor desarrollo en Europa y EEUU.

Investigadores de diversos países han contribuido al conocimiento del clavado y la influencia de ciertos parámetros, en juntas o uniones de tipos Estructural. Entre los conceptos más avanzados fueron incorporando una serie de investigadores americanos tales como Sholten J.; Brock G.R. Así también aparecen trabajos en Francia de Crestin Y Camprend en Suecia Ekstron Noren; en Italia Carvallari y Murat; en Suiza Sxhubiger y Stu Stussi; en Japón Nakamura. (Ref. 10, pag. 4)

Por un lado Estados Unidos con La AMERICAN SOCIETY TESTING OF MATERIAL especifica en sus normas las dimensiones formas y procedimientos para el desarrollo de los ensayos experimentales de Uniones Clavadas en la norma ASTM D 1761 y en Europa se desarrolló el EUROCODIGO 5 que es la reglamentación para diseño en maderas, en la cual un capítulo referido para carga lateral específicamente uniones con clavos entre madera y madera donde nos brinda las recomendaciones de las uniones clavadas en madera.

Debido a que en Sudamérica se carecía de información experimental para establecer cargas admisibles para uniones clavadas con maderas de la subregión andina, se empieza a desarrollar estudios como los Proyectos andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales (PADT-REFORT) de la Junta del Acuerdo de Cartagena. Los Estudios y ensayos se realizaron con la colaboración de 5 Países de la sub región: Bolivia; Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

En el Perú Actualmente se cuenta con la Norma E.010 que se elaboró gracias a la información desarrollada en el Manual de Diseño para maderas del Grupo

andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena, donde se puede encontrar toda la información referente a Uniones clavadas en su capítulo 10.2 de dicha Norma, para mayor claridad se recomienda ingresar al Manual de Diseño para maderas del Grupo andino, al capítulo 12, donde en la parte I de recomendaciones: muestra los lineamientos para diseñar Uniones clavadas en madera con clavos y la Parte II de comentarios: muestra las consideraciones de cálculo que se tuvieron para obtener los Esfuerzos admisibles usados en el diseño.

2.5 ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO DE UNIONES CLAVADAS.

2.5.1 Contenido de Humedad.

Se sabe que la madera está constituida principalmente por fibras (Células) alrededor del cual se encuentra el agua en distintas partes. El agua Libre se encuentra llenando las cavidades Celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para conseguir el peso anhidro el horno debe alcanzar una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, al cual se denomina peso seco al horno. (Ref.6, pág.1-15)

Para determinar el contenido de humedad, se utilizó la metodología descrita en la norma NTP 251.010, que consistió en lo siguiente:

- **Preparación de probetas:** Las probetas se tomaron al azar según la norma correspondiente (NTP 251.010). Se emplearon probetas de 3 x 3 cm. de sección transversal y 10 cm. de longitud.
- **Procedimiento:** Se pesan cada una de las probetas para obtener el peso húmedo (PH), expresados en gramos y luego se colocaron en la estufa hasta alcanzar los $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. por 24 horas.

Se deja enfriar por un espacio de 15 minutos y se pesó nuevamente repitiendo las veces que sean necesarias hasta obtener un peso constante, tomándose los datos del peso seco al horno (PSH).

La fórmula del contenido de humedad es la siguiente:

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

Donde:

CH: Contenido de Humedad (%).

PH: Peso Húmedo (g).

PSH: Peso Seco (g).

2.5.2 Densidad básica.

En general la densidad es la relación que existe entre la masa y volumen de la madera, como ya se mencionó la densidad básica proviene del cociente entre el peso seco al horno y el volumen en estado verde o saturado un cuerpo. (Ref.6, pág.1-19)

Y según la cartilla de Construcción de la JUNAC menciona que la densidad básica es la que se determina con mayor frecuencia y permite establecer relaciones con otras propiedades de la madera y hacer comparaciones con otras especies.

La densidad se determinó en base a la norma NTP 251.011

- **Preparación de las probetas:** Las probetas se toman al azar según la norma correspondiente (NTP 251.011). Se emplean probetas de 3 x 3 cm. de sección transversal y 10 cm. de longitud.

- **Procedimiento:** Se pesan las probetas para obtener el peso seco al horno (PSH). El volumen en estado saturado o volumen verde (VV) se determina en forma indirecta, sumergiendo la probeta en un peso conocido de agua destilada sin tocar el fondo del recipiente y se registró el incremento de peso correspondiente, que representa el volumen desplazado por la probeta.

Luego se coloca en la estufa hasta alcanzar los 103 °C ± 2 °C por 24 horas. Se retira las probetas de la estufa, se dejan enfriar y se pesan. Se repite el tratamiento de tal forma que al medir no haya variación del peso. Así se garantiza que se tiene el PSH.

Los datos obtenidos del peso seco al horno y el volumen verde se anotan en un cuaderno de apuntes, con esto datos la densidad se obtiene con la siguiente expresión:

$$DB = \frac{PSH}{VV}$$

Donde:

PSH: Peso de la madera en estado seco o anhidro. (*g*)

VV: Volumen verde o saturado de la madera. (*cm*³)

2.5.3 Resistencia a simple cizallamiento en uniones Clavadas.

La resistencia a Simple cizallamiento en uniones clavadas en madera es la capacidad de carga que puede admitir 2 piezas de madera unidas a través de clavos cuando estas son sometidas a una acción de fuerzas que tienen una dirección perpendicular a los Clavos, la acción de estas fuerzas indirectamente trata de lograr extraer los clavos de la madera generando esfuerzos y deformaciones en la Unión, Estos esfuerzos generados se desarrollan en el plano de corte entre madera y madera.

2.5.4 Resistencia a doble cizallamiento en uniones Clavadas.

La diferencia entre la resistencia a doble cizallamiento y simple cizallamiento es que en la resistencia a doble cizallamiento los esfuerzos se reparten en 2 planos de corte y la unión clavada está constituida por el empalme de 3 piezas de madera como se puede ver en la **Figura 7**.

2.5.4.1 Condiciones del Ensayo según normativa.

Para el desarrollo del ensayo de resistencia a doble Cizallamiento se cuenta con la norma ASTM D 1761-12 que denomina a este ensayo con el nombre de "Resistencia a la Carga lateral de uniones clavadas", a continuación se menciona algunos lineamientos del ensayo:

El ensayo se procede aplicando la carga que tiene una dirección paralela a las fibras de la madera.

La velocidad de ensayo es de 0.10"/min (2.54 mm/min. +/-25%) Por lo menos hasta llegar a la carga máxima.

La norma Indica el uso del deformímetro en la probeta para medir las deformaciones de la pieza central respecto a la pieza lateral de madera.

Para el registro de datos de las deformaciones debido a la acción de la carga, nos apoyamos en el uso de un dispositivo moderno llamado LVDT del inglés "Linear Variable Differential Transformer" Es un dispositivo que generalmente se utiliza en la industria de control de movimiento computarizado así como en la robótica, este dispositivo tiene como objetivo mostrar el desplazamiento o el movimiento de objetos respecto a una posición y en nuestro caso reemplaza el deformímetro convencional ver **Figura 5**.

2.5.4.2 Especímenes para ensayo (Probetas).

Antiguas investigaciones han utilizado diversidad de propuestas geométricas tanto para el espesor de las maderas, así como para el espaciamiento entre clavos de las Uniones Clavadas a ensayar, líneas abajo se aborda dichas consideraciones que definen la geometría final del espécimen basadas en las recomendaciones de la JUNAC.

La carga admisible de una unión clavada depende de muchos factores, como el tipo de madera utilizada y su condición, la calidad, longitud y cantidad de clavos, espesores de los elementos de penetración, etc. Puede Considerarse que la carga admisible de una unión clavada es directamente proporcional al número de clavos siempre que se cumpla los requisitos de espaciamiento indicados en JUNAC, ver **Figura 5**.

Espaciamiento entre Clavos

A continuación, se muestra la recomendación de la JUNAC para Los espaciamientos mínimos que son necesarios para evitar rajaduras al clavar la madera, ver **Figura 5**.

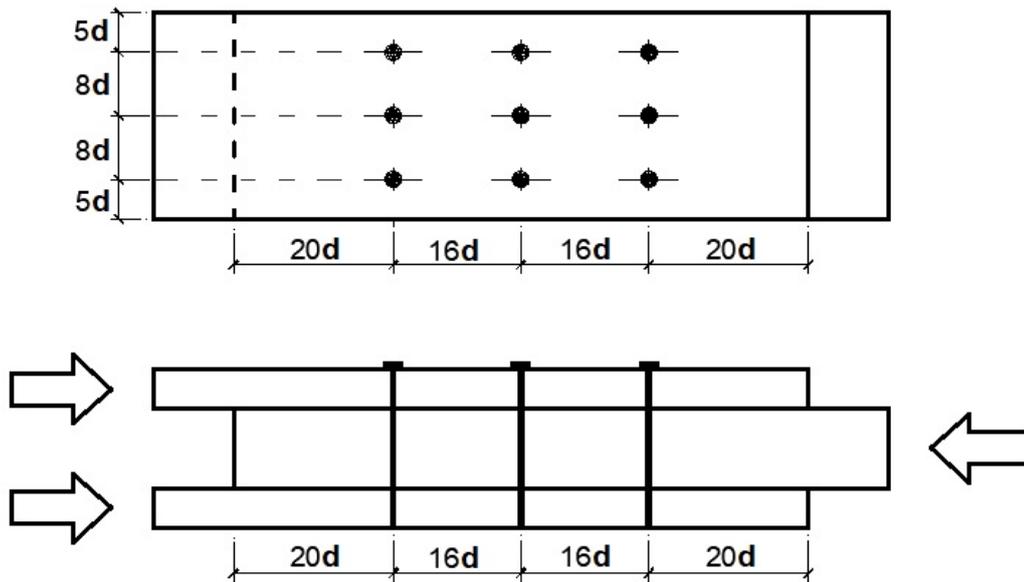


Figura 5: Espaciamiento mínimo y distancia al borde según la JUNAC.

Espesor de las piezas de madera (Figura 6)

El espesor del miembro central tiene que ser al menos igual a 10 veces el diámetro del clavo, $10d$. Tanto el espesor del elemento lateral adyacente a la cabeza del clavo, como la penetración del clavo en la madera de la punta, no debe ser menor que 5 veces el diámetro del clavo, $5d$. (Ref.6, cap.12 - pág. 7)

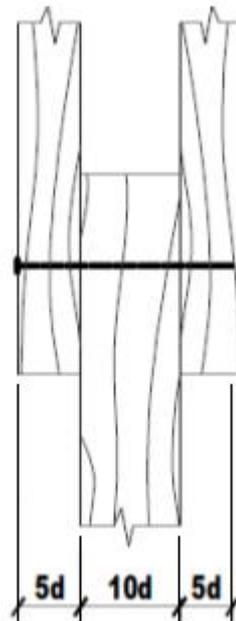


Figura 6: Espesores de las tablas de madera de la unión según la JUNAC.

Estas son las disposiciones mínimas que nos recomienda la JUNAC, sin embargo, las probetas pueden tener dimensiones mayores.

Modelo Geométrico Final del espécimen

Para mantener uniformidad con el estudio realizado por la JUNAC en su proyecto "Ensayo de uniones clavadas con maderas de 49 especies de la subregión Andina" es que se toma la consideración de mantener las dimensiones de las probetas, así como el espaciamiento entre clavos, ver **Figura 7**

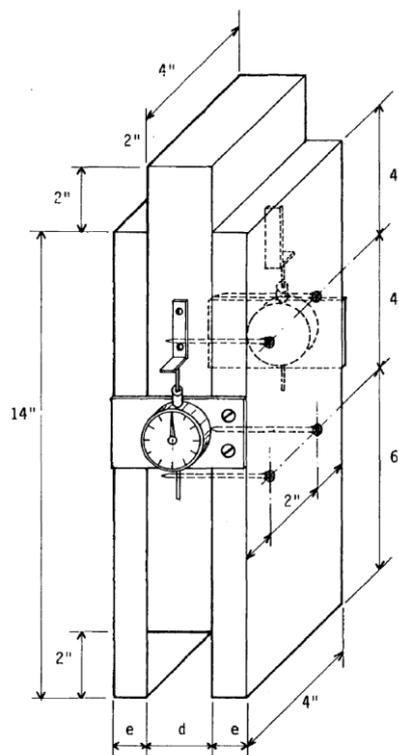


Figura 7: Dimensiones de las probetas según la JUNAC. (Ref.7)

Investigaciones en la UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA respaldan este modelo geométrico, podemos citar a Villa Meneses (Ref. 11, Pág. 44) cuya propuesta se acerca más al modelo de la **Figura 7** en cuyo contenido se puede observar la misma separación horizontal entre clavos. Cada probeta está constituida de 3 tablas: 1 tabla central cuyo espesor (d) tiene el doble de espesor que las otras 2 tablas laterales con espesor (e), respecto al espesor de las piezas se cumple con las dimensiones mínimas que recomienda la norma como se aprecia en la **Figura 6** donde los espaciamientos mínimos dependen del diámetro del clavo. Además, cabe aclarar que, para los 3 tipos de probetas de diferentes diámetros de clavos, los espesores de las tablas son diferentes, por ello las tablas

de espesores e y d son variables en la figura mostrada, pues varían de acuerdo al tipo de clavo (diámetro); sin embargo, respecto a las dimensiones del ancho y largo de las tablas son la misma para los 3 tipos de probetas. El detalle de las dimensiones finales por tipo de probeta se presenta en el capítulo siguiente.

2.6 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS DEL CLAVO Y LA RELACIÓN CLAVO MADERA

Los métodos que se desarrollan en diversos códigos de diseño para la determinación de la resistencia a doble cizallamiento en uniones clavadas necesitan valores intermedios que participan en el cálculo de dicha resistencia y para determinarlos es indispensable algunos resultados de laboratorio a los cuales llamaremos ensayos complementarios del clavo y la madera, pues según los estudios realizados por Johansen (1949) un modelo Europeo de Diseño y los autores que lo sucedieron se observa que dichos valores guardan relación directa con las variables como el diámetro de clavo o espesor de la madera así como el comportamiento del clavo y la madera sometidos a esfuerzos límites, en ese sentido en algunos casos los códigos de diseño cuentan con formulaciones o expresiones de cálculo directo para obtener estos parámetros o valores intermedios; sin embargo, otros códigos de diseño requieren alguno de esos parámetros, porque no presentan un fórmula o expresión de cálculo en su normativa, pero si consideran que se pueden obtener de un ensayo experimental de Laboratorio.

La característica propia del comportamiento del clavo es “la tracción de los Clavos”; la de la madera, es “el aplastamiento de la madera debido al clavo”, por otro lado la normativa Europea también considera una propiedad que relaciona el clavo y la madera como es “la extracción del clavo en madera” Aunque esta última norma cuenta con expresiones de cálculo directo para obtener dicho valor, en algunos casos se desarrolla el ensayo experimental con el objeto de saber si la expresión teórica se ajusta al valor experimental de la extracción de clavo.

A continuación, se presentan las consideraciones que se deben tener para los ensayos experimentales de las 3 propiedades del clavo, la madera y su relación clavo-madera.

2.6.1 Tracción del clavo

Es el ensayo de Tracción una caracterización de materiales, que consiste en someter una muestra de material de dimensiones controladas, a una carga uniaxial de tracción hasta la rotura. Permite cuantificar la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada mediante una gráfica Esfuerzo-Deformación donde se puede observar su comportamiento.

La rigidez a la flexión del clavo se caracteriza por su momento plástico (M_p) definido como el momento máximo que puede soportar un clavo, este momento plástico $M_{y,Rk}$ tiene un rol importante en el cálculo de esfuerzos de doble cizallamiento del Eurocódigo 5, por lo cual el valor de la tracción del clavo $f_{u,k}$ ayudará al cálculo del momento plástico con la expresión:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6}$$

$M_{y,Rk}$: Momento característico de plastificación (N.mm)

$f_{u,k}$: Resistencia a la tracción del clavo (MPa).

d : Diámetro del clavo (mm).

El ensayo de tracción del clavo lo llevo a cabo el laboratorio N°12 de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (LABICER), quiénes en un informe proporcionaron los valores de las fuerzas de tracción del clavo realizados a 3 tipos de clavos de diferente longitud y los ensayos se desarrollaron en: 3 clavos de 2", 3 clavos 2 ½" y 3 clavos de 3" siguiendo los lineamientos de la norma UNE EN 10002-1 Los informes se presentan en los anexos F, G, H, I, J y K de la parte final de la tesis. El resumen de los resultados numéricos de los 3 informes de ensayos de la resistencia a la tracción de los clavos se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Resultados de laboratorio de ensayos de resistencia a la tracción (clavos de 2", 2 ½" y 3")
Fuente: Informes técnicos de LABICER-UNI

PRUEBA	CLAVOS DE 2"		CLAVOS DE 2 1/2"		CLAVOS DE 3"	
	ESPESOR (mm)	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)	ESPESOR (mm)	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)	ESPESOR (mm)	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)
1	2.75	479	3.38	774	3.77	875
2	2.78	481	3.39	792	3.79	916
3	2.76	476	3.38	732	3.78	924
PROMEDIO	2.76	479	3.38	766	3.78	905

2.6.2 Aplastamiento de la madera debido al clavo

El aplastamiento de la madera es la capacidad que tiene una pieza de madera a soportar una fuerza de compresión, este ensayo se realiza sometiendo una

muestra de material de madera incrustada por un clavo, a una fuerza de compresión, de estos ensayos se obtiene la Carga última de la cual se procesa hasta obtener un valor característico, luego dividiendo entre el diámetro del clavo y la longitud del clavo embebida en la probeta obtenemos el esfuerzo de aplastamiento de la madera. La norma Europea considera que en el ensayo de aplastamiento la carga máxima se obtiene en el momento de rotura o cuando la probeta alcanza una deformación de 5mm, por ello el ensayo de aplastamiento se regula a una velocidad constante hasta alcanzar un deslizamiento de 5 mm para obtener la carga máxima.

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

$F_{m\acute{a}x}$: Carga máxima o correspondiente a un deslizamiento de 5mm (N).

d : Diámetro del elemento de fijación o clavo (mm).

t : Espesor de la probeta (mm).

La Resistencia al aplastamiento del clavo se determina de manera experimental gracias al ensayo de aplastamiento de la madera que la rige la Norma UNE EN 383, sin embargo las normas Europea y Argentina tienen expresiones teóricas que permiten obtener la resistencia de aplastamiento a partir de variables como la densidad de la madera y el diámetro del clavo, cuyo desarrollo se apreciará en el capítulo 4.3.

Consideraciones de la norma UNE EN 383 para el ensayo de aplastamiento:

El objetivo de este ensayo es conseguir la carga máxima evitando que se produzca la flexión del elemento de fijación sometido a ensayo. Se carga el elemento de fijación en dirección perpendicular a su eje. Mediante un dispositivo de carga de acero se mide la carga y el aplastamiento o deformación correspondiente. (Ref.5, pág. 210)

Para la madera maciza o productos derivados de la madera constituidos por varias capas que tengan una sola dirección de la fibra, la carga puede ejercerse en la dirección paralela a la fibra, o bien en dirección perpendicular a la fibra para la compresión. La probeta tiene que ser un prisma rectangular que incluya un elemento de fijación cuyo eje este orientado perpendicularmente a la superficie de la probeta prismática. Las restricciones dimensionales se indican en la **Figura 8**. (Ref.5, pág. 211)

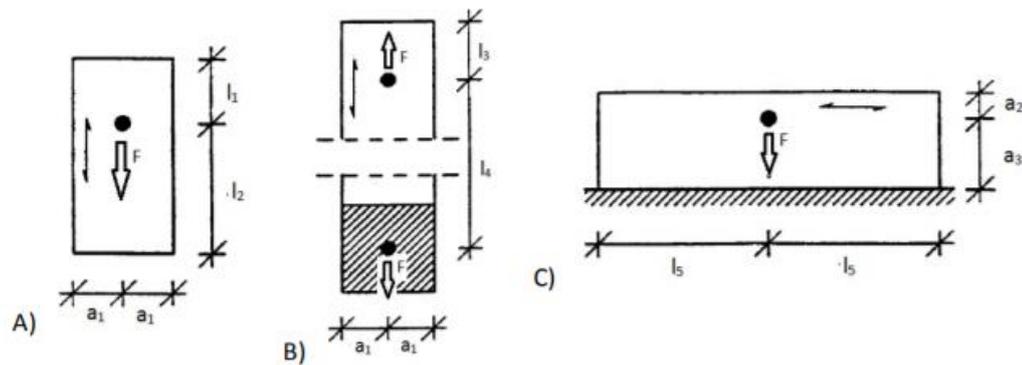


Figura 8: Dimensiones de las probetas de aplastamiento respecto al centro del clavo A) paralelo a la fibra, por compresión; B) paralelo a la fibra, por tracción; C) perpendicular a la fibra, por compresión, espaciamentos según (UNE-EN 383, 2007)

Donde las dimensiones de las muestras “a” y “l” son función del diámetro del clavo o perno, según se refleja en la **Tabla 10**.

Tabla 5: Geometrías de probetas del ensayo de aplastamiento en función del diámetro, del clavo o perno.
Fuente: UNE-EN 383 (Ref. 5)

Dimensiones	Clavos sin taladro previo	Clavos con pretaladro	Tornillos y clavijas	Material de la probeta
a ₁	5·d	5·d	3·d	Madera o tableros derivados de la madera.
l ₁	20·d	12·d	7·d	
l ₂	20·d	12·d	7·d	
l ₃	20·d	12·d	7·d	
l ₄	40·d	40·d	30·d	
a ₁	5·d	5·d	5·d	Madera o productos derivados de la madera de varias capas con una única dirección de la fibra.
a ₁	5·d	5·d	5·d	
l ₅	20·d	20·d	20·d	

Las muestras de aplastamiento de nuestra madera Pashaco son clavos sin previo taladro para ello se selecciona de la **Tabla 5** las dimensiones: $a_1=5d$ y $l_1=l_2 = 20d$, según indica la norma UNE-EN 383, además el valor del espesor de la pieza debe estar entre $1.5d$ y $4d$ para considerar la condición de clavos rígidos donde (t) es el espesor de la pieza y (d) diámetro del elemento de fijación.

La colocación de los elementos de fijación se ejecuta de tal manera de garantizar la perpendicularidad entre el eje del elemento de fijación y la cara de apoyo de la probeta.

2.6.3 Extracción del clavo

Las uniones clavadas están constituidas por piezas de madera que se unen a través de clavos, la dirección en la que pueden estar dispuestos los clavos

respecto a la orientación de la madera pueden ser: Clavos en dirección perpendicular a las fibras de la madera o Clavos en dirección paralela a las fibras de la madera y en algunos casos clavos inclinados; pues la forma en la que se dispongan al unir piezas de madera hará la diferencia en su resistencia a la extracción, por ello la importancia de su estudio. Es así que dos tipos de extracción son las más comunes: las uniones de extracción directa del clavo, donde se le aplica una carga de extracción en la misma dirección del eje longitudinal del clavo, la cual es motivo de estudio de este apartado; por otro lado, se tiene uniones de extracción lateral, donde el clavo es sometido a una carga de extracción perpendicular al eje del clavo y viene a ser lo mismo que nosotros conocemos como “Resistencia a doble cizallamiento de uniones clavadas”.

Para la resistencia a doble cizallamiento de la unión clavada el Eurocódigo considera la participación de la resistencia a la extracción del clavo, así como la fricción entre piezas de madera y se observan en las expresiones de los modos de rotura j y k (**Tabla 8**) fórmulas que corresponden a los modos de rotura para uniones clavadas con dos planos de corte. (Ref.4, pág. 99)

Extracción Directa.

También conocida como resistencia al arrancamiento de clavos en madera, la resistencia a la extracción directa de clavos depende de que tanta adherencia tenga el clavo con la madera, además de cuanta presión ejerza la madera sobre el clavo desde el momento en que fue clavada, es por ello que los valores proporcionados por este ensayo experimental, dará una idea de cuanta adherencia existe entre el clavo y la madera.

La Norma que rige el ensayo de extracción directa es la ASTM-D1761, en el capítulo denominado: NAIL, STAPLE, OR SCREW WITHDRAWAL TEST que significa “Prueba de extracción de clavos, grapas o tornillos”

Para pruebas básicas de extracción del clavo en madera, el prisma de madera será de 2 x 2 x 6 pulgadas (5 x 5 x 15 cm), la norma también indica que la penetración del clavo deberá hincarse un ángulo recto y con una penetración de la punta de 1¼ in. (32mm.) y deberán colocarse 2 clavos por cada plano (cara) del prisma

En general, las distancias al borde no deben ser inferiores a ¾ in. (19 mm), distancias de los extremos no inferiores a 1 ½ in. (38 mm) y dos sujetadores no

deben estar alineados entre sí o menos con una separación de 2 in. (51 mm) en caras radiales o tangenciales, ver **Figura 9**.

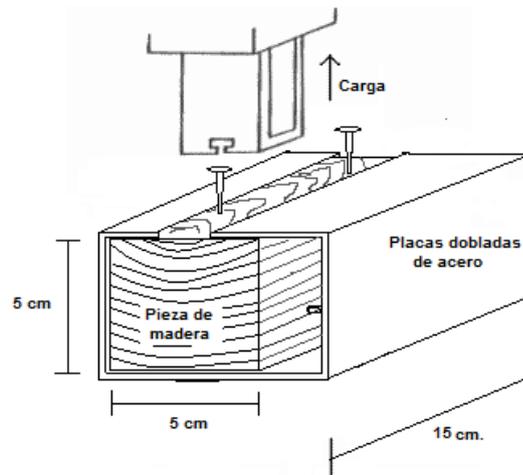


Figura 9: Dimensiones y modelo de probeta antes de ser ensayada a Extracción Directa.

El ensayo debe realizarse a una velocidad constante cuyo tiempo de ensayo se realiza en un rango de 1 a 2 minutos para cualquier caso.

En la norma Europea la extracción del clavo es un parámetro del que depende los valores de la capacidad portante según los modos de falla j y k (modos de rotura) que se ven en la **Tabla 8**, la extracción del clavo participan directamente como una especie de sumando adicional para obtener la capacidad portante de los 2 modos de falla, por lo cual los resultados experimentales no servirá para saber si la expresión teórica europea se ajusta a nuestro ensayo experimental. Por lo tanto finalmente la norma Europea nos presenta la resistencia al arrancamiento del elemento de fijación (f_{ax}), que considera el valor característico de la fuerza máxima dividida entre el diámetro del clavo y la longitud de penetración de la punta, f_{ax} se calcula mediante la siguiente expresión:

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

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)

2.7 EXPRESIONES DE CÁLCULO ESTADÍSTICO.

La norma EN 14358:2016 que corresponde al conjunto de normas europeas del EUROCODIGO 5 nos proporciona dos posibilidades para el cálculo estadístico de los ensayos experimentales, para el cálculo de parámetros de resistencia deben tratarse con una distribución Log-normal, lo cual nos ayuda a conseguir los valores característicos que vienen a ser los valores correspondientes al percentil del 5%, por lo tanto.

Para calcular parámetros de resistencia donde involucra esfuerzos se usará el cálculo de distribución log-normal que se muestra 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 a nivel de logaritmos.

s_y : Desviación típica.

m_k : Valor característico. (percentil del 5%)

$\ln m_i$: Logaritmo natural aplicado a los valores de cada ensayo.

n : Cantidad de cuerpos o especímenes de prueba.

k_s : Parámetro K que está en función de n.

2.8 UNIONES CLAVADAS RECOMENDADO POR LA JUNAC.

La Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) en el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino presenta una tabla de esfuerzos admisibles para un clavo orientado perpendicularmente a las fibras y sometido a simple cizallamiento, La información básica para esta tabla proviene de ensayos de uniones con 4 clavos sometidos a doble Cizallamiento. En cada ensayo se determinaron la carga para un desplazamiento relativo de 0.38mm. (0.015") y la Carga máxima, considerándose ambos valores para determinar la carga admisible, según se describe a continuación.

Para uniones clavadas, la distribución de esfuerzos entre los distintos clavos es prácticamente uniforme, más aun tratándose de uniones con pocos clavos. Por lo tanto, es factible establecer cargas admisibles a partir de la rigidez y resistencia que tendría una unión similar con un solo clavo, es así que para uniones con varios clavos pueden obtenerse dividiendo los resultados experimentales entre el número de clavos. (Ref. 6, Pág.12 - Pág. 21)

La JUNAC propone expresiones de cálculo teórico para obtener cargas soportadas por un clavo, una es para obtener la carga a 0.38 mm de deformación y la otra para obtener la carga última, que dependen de la densidad básica de la madera ρ en (g/cm³) y el diámetro del clavo d en (mm)

El valor medio de la carga correspondiente para 0.38 mm de deformación de un clavo en doble cizallamiento $P_{0.38 prom}$ (Kg), se determina con la siguiente expresión:

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

Para la carga última $P_{U.min}$ (Kg), se obtiene una expresión similar:

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

Para esta última expresión el subíndice mín. indica que se trata de un valor correspondiente al 5° rango o aproximadamente al 5° percentil.

Estos valores se dividen entre algunos factores de reducción como el factor de duración de la carga, factores de carga, además el factor de aproximaciones de análisis y otros, indicados en la **Tabla 6**.

Para propósitos de esta investigación del diseño de uniones clavadas con la propuesta de la JUNAC en la especie maderable Pashaco no se divide entre el factor de variación del contenido de humedad (verde a seco), ya que no sufrirá un transformación en el tiempo, por que la madera con la que se diseña se encuentra en estado seco.

Tabla 6: Factores de reducción para cargas admisibles según JUNAC.

Fuente: Manual de diseño para maderas del grupo andino (Ref. 6)

CONSIDERACIONES DE DISEÑO	VALOR PROMEDIO DE LA CARGA A 0.38 MM. (CONDICION DE SERVICIO)	VALOR MÍNIMO DE LA CARGA MÁXIMA (CONDICIÓN ÚLTIMA)
DURACIÓN DE CARGA	1.33	1.50
VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (VERDE A SECO)	1.25	1.25
FACTORES DE CARGA	1.00	1.50
APROXIMACIONES DEL ANÁLISIS Y OTROS	1.25	1.25

Adicionalmente se divide estos valores entre 1.8 para obtener las cargas admisibles de clavos a simple cizallamiento. (Ref. 6, cap.12 - pág. 22)

Finalmente se selecciona el menor de los resultados para futuros diseños.

2.9 UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA EUROPEA (EUROCODIGO 5)

ANTECEDENTES.

En la norma Europea el diseñador cuenta con expresiones para determinar la capacidad portante de las uniones clavadas. El origen de estas expresiones fue desarrollada por Johansen en 1949 modificado por investigaciones posteriores, lo cual ha sido de gran utilidad y hoy en día distintas normativas lo usan y ha alcanzado una trascendencia internacional destacada.

Tradicionalmente, la obtención de la capacidad resistente de los medios de unión se lograba a partir de resultados de ensayos de corta duración llevados a cabo sobre un número de muestras no muy numerosas. Admitiendo una distribución normal de los resultados, se deducían los percentiles adecuados y se aplicaba una reducción para incluir el factor de seguridad y el efecto de duración de carga, pero ese procedimiento fue considerado insuficiente para estimar con seguridad los valores característicos requeridos conforme al avance de las reglas de diseño estructural. Con el propósito de resolver este problema, Johansen (1949) desarrolló un modelo, el European Yield Model (EYM) para interpretar y predecir la resistencia de una conexión sobre la base de considerar la falla por aplastamiento de los miembros unidos o una falla de éstos en forma simultánea con la formación de rótulas plásticas en los elementos de fijación. (Ref. 4, pág. 16)

Este modelo inicial se basó en dos propiedades de los materiales: la resistencia al aplastamiento de la madera y el momento de plastificación de los elementos de fijación. No obstante, para alcanzar los modos de rotura previstos es necesario evitar una falla prematura en la madera, habitualmente con características de rotura frágil, que puede producirse por tensiones cortantes o de tracción, cuando el espaciamiento entre los elementos de fijación o entre éstos y los extremos de los miembros unidos es reducido. Esta condición referida a un adecuado diseño geométrico de la conexión constituye, junto a las dos propiedades mencionadas anteriormente, la base del modelo. El análisis inicial hecho por Johansen (1949) consideraba juntas donde los miembros unidos presentaban igual resistencia y espesor. Posteriormente el modelo se hizo extensivo a uniones con miembros de madera de diferente

resistencia y espesor (Meyer 1957). **Tabla 7** exhibe los modos de rotura considerados en este modelo para conexiones con una y dos secciones de corte. (Ref. 4, pág. 17)

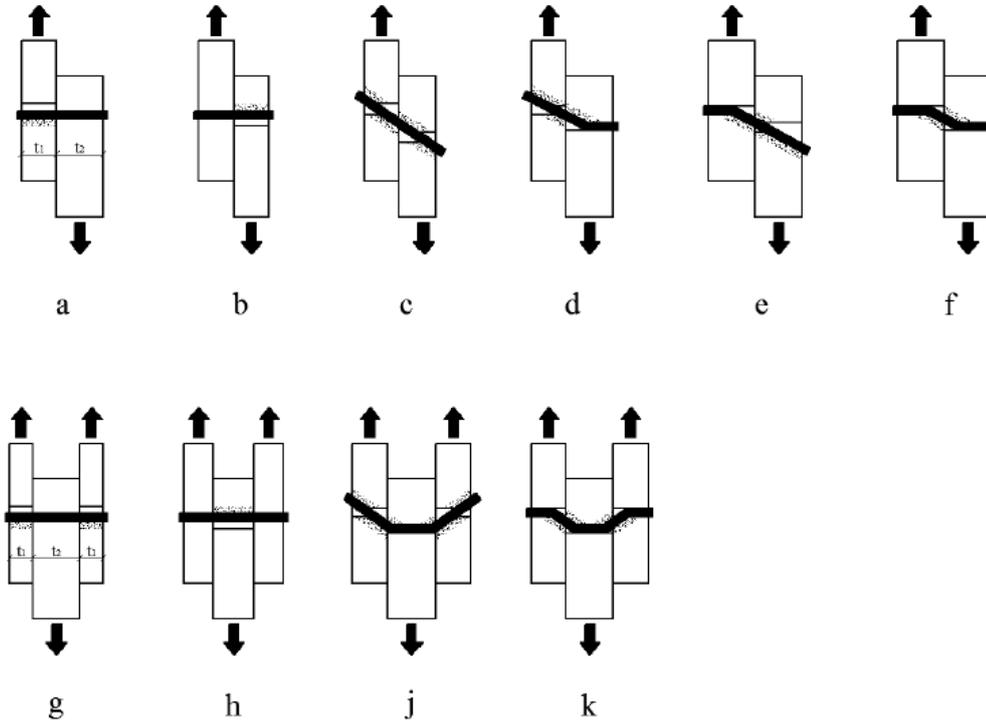


Figura 10: Modos de rotura posibles en una conexión de tipo clavija según el modelo de Johansen. Conexiones con una sección de corte (arriba), conexiones con dos secciones de corte (abajo).

La observación de la **Figura 10** permite apreciar que en las conexiones con una sección de corte los modos de falla (a) y (b) implican el aplastamiento de la madera en uno u otro miembro contra el elemento de fijación, el cual no gira ni se deforma flexionalmente. En el modo (c) el aplastamiento de la madera ocurre simultáneamente con el giro del elemento sin deformar. Los modos (d), (e) y (f) implican 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 conexiones con dos secciones de corte los modos (g) y (h) implican el aplastamiento de la madera en los miembros laterales o en el central, respectivamente, sin deformación flexional del elemento de fijación. Los modos (j) y (k) implican el aplastamiento de la madera con la formación de rótulas plásticas en el miembro central o en los tres miembros, respectivamente.

Sobre la base de las hipótesis planteadas, a través de un análisis desarrollado para cada modo de rotura es posible obtener la ecuación que permite calcular

el valor de la capacidad portante correspondiente (Hilson 1995a). La **Tabla 7** presenta las expresiones que permiten calcular la capacidad portante para cada modo de rotura, por cada elemento de fijación (conexión simple) y por cada sección de corte. El valor característico correspondiente será el menor de los 6 obtenidos para conexiones con una sección de corte y de los 4 obtenidos para conexiones con dos secciones de corte. (Ref. 4, pág. 19)

Tabla 7: Esfuerzos de rotura por tipos o modos de falla del modelo de Johansen.
Fuente: Sosa Zitto. (Ref. 4)

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	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right]$
	e	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right]$
	f	$F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d}$
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	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right]$
	k	$F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d}$

El Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2004).

La Norma Europea tiene como base el modelo de Johansen con algunas modificaciones, ahora para obtener la capacidad portante de la unión por clavo y por cada sección de corte se toma el menor de los valores obtenidos aplicando las expresiones que para cada modo de falla ($F_{v,Rk}$), a continuación se muestran estos valores en la **Tabla 8**, notar que se han mantenido los mismos símbolos observados en la **Figura 10**. (Ref. 4, pág. 28)

Tabla 8: Capacidad portante Propuestos por el Eurocódigo de acuerdo a los modos de falla de la unión clavada.

Fuente: Sosa Zitto. (Ref. 4)

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	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	e	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	f	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
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	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
	k	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

siendo:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Donde:

d: diámetro del elemento de fijación

t: espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 ó 2.

f_{h,1,k}: resistencia característica al aplastamiento en la pieza 1

f_{h,2,k}: resistencia característica al aplastamiento en la pieza 2.

M_{y,Rk}: momento plástico característico.

F_{v,Rk}: :: capacidad de carga por plano de cortante y por elemento de fijación.

Sabiendo que las Uniones clavadas para los modos de falla (c, d, e, f, j, k) quienes desarrollan rotulas plásticas al final de su deformación, expresiones que se proponen debido a que vienen de experimentar una resistencia adicional en la extracción del clavo y una resistencia debido a la fricción entre las maderas. (Ref. 4, pág. 29)

Son estas razones por la cual la norma europea incorporan la expresión ($F_{ax,Rk}/4$) a todos los modos de falla mencionados en el párrafo anterior así como el factor 1.05 para los modos (d, e, j) y el factor 1.15 para los modos (f, k), estas expresiones se pueden observar en la **Tabla 8**. Es necesario aclarar que el sumando ($F_{ax,Rk}/4$) se aplica a los sumando con ciertos porcentajes de incidencia de acuerdo al tipo de elemento que sujeta a las uniones de madera, considerando la totalidad de su participación para tornillos y tirafondos, en cambio para el caso de clavos especiales el 50% de participación, para bulones un 25% y finalmente para clavos de sección circular se participa en un 15% (Ref. 4, pág. 30)

Separaciones y distancias mínimas:

El Eurocodigo 5 menciona la importancia de la separación mínima entre clavos.

Estas separaciones mínimas limitan la interacción de tensiones de aplastamiento provocado por los distintos clavos, y la superposición de componentes de la fuerza de tracción perpendicular a la fibra entre 2 o más clavijas. (Ref. 5, pág. 67)

Las separaciones y distancias mínimas se dan en la **Tabla 9**, con las definiciones incluidas en la **Figura 11**.

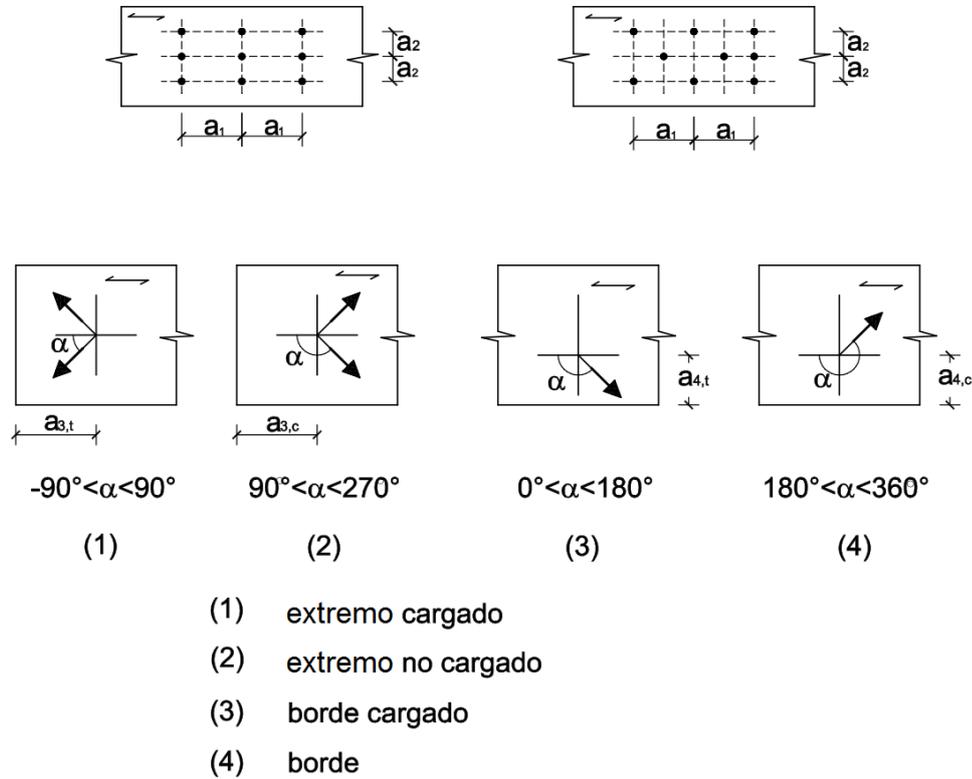


Figura 11: Parámetros empleados para interpretar las distancias entre los clavos según el Eurocódigo.

Tabla 9: Distancias mínimas recomendado por el Eurocódigo en las uniones clavadas.
Fuente: Documento Básico SE-M (Ref. 12)

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima		
		Sin pretaladro		Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}; (5+5 \cos \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (5+7 \cos \alpha)d$	$(7+8 \cos \alpha)d$	$(4+ \cos \alpha)d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha)d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha)d$	$(15+5 \cos \alpha)d$	$(7+5 \cos \alpha)d$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}; (5+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (5+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (7+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (7+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (3+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (3+4 \sin \alpha)d$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Capacidad de carga lateral

El valor característico de la capacidad de carga lateral de un elemento mecánico de fijación, $F_{v,Rk}$, debe tomarse como el menor valor de los obtenidos en cada grupo de expresiones correspondientes a las distintas opciones de uniones. (Ref. 12, pág. 45)

La capacidad de carga lateral se obtiene mediante la aplicación de las reglas definidas en la **Tabla 8**, con el siguiente significado de los símbolos:

t_1 : En simple cortadura es el espesor de la pieza correspondiente a la cabeza del clavo o en doble cortadura es el menor valor de los dos siguientes: espesor de la pieza de cabeza o penetración en la pieza de punta, véase **Figura 12**.

t_2 : Penetración en la pieza de punta en simple cortadura o espesor de la pieza central en doble cortadura.

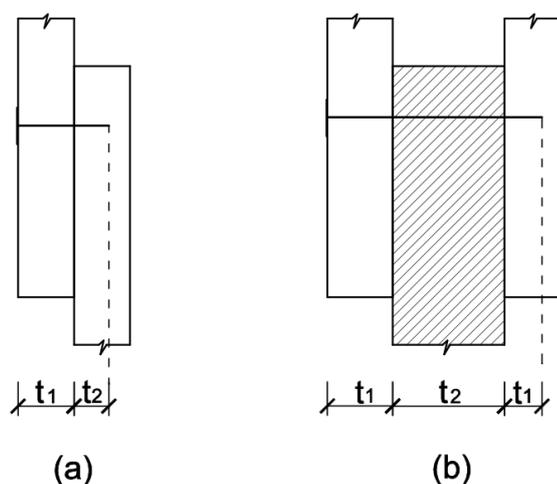


Figura 12: Definición de t_1 y t_2 . a) cortadura simple, b) cortadura doble.

Cuando la densidad característica de la madera sea superior o igual a 500 kg/m³ o cuando el diámetro del clavo sea mayor que 6 mm, debe realizarse un pretaladrado en la madera.

En clavos de sección cuadrada, se tomará como diámetro d el lado del cuadrado. (Ref. 12, pág. 48)

Resistencia al aplastamiento de la madera por el elemento de unión

La resistencia característica al aplastamiento en clavos con diámetro menor o igual a 8 mm y para cualquier ángulo con respecto a la fibra, puede obtenerse de las expresiones siguientes:

a) sin taladro previo: $f_{h,k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3} \text{ (MPa)}$

b) con taladro previo: $f_{h,k} = 0.082(1-0.01d) \rho_k \text{ (MPa)}$

donde:

ρ_k : densidad característica de la madera, (kg/m)

d : diámetro del clavo, (mm)

El valor característico del momento de plastificación.

El Eurocódigo propone una expresión para calcular el momento característico de plastificación que depende de la tracción del clavo y de su diámetro para clavos de fuste liso y la expresión que la determina es la siguiente:

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

donde:

$f_{u,k}$: Resistencia a tracción del clavo (N/mm²)

d : Diámetro del clavo (mm)

Resistencia a la extracción de clavos.

El Eurocódigo también tiene una expresión teórica para obtener la extracción de clavos a partir de la densidad básica, así como del diámetro y la penetración de la pieza que contiene a la punta del clavo, la resistencia a la extracción del clavo se estima con la siguiente expresión:

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

donde:

ρ_k : Densidad de la madera (N/mm²)

d : Diámetro del clavo (mm)

t_{pen} : Longitud de Penetración en el miembro de madera que contiene a la punta del clavo (mm)

Si la penetración en la pieza que contiene a la punta es menor que $12 \cdot d$, los valores anteriores deberán reducirse por el factor definido en la siguiente expresión:

$$\frac{t_{pen}}{4d} - 2$$

Si analizamos la última expresión notamos que t_{pen} debe ser mayor que $8d$, este factor se aplica a clavos de caña lisa. (Ref 4, pág. 32)

Capacidad de Carga en los clavos por cada modo de falla.

De la **Tabla 8** seleccionamos las expresiones correspondientes a los modos de falla *g*, *h*, *j* y *k* para el cálculo de capacidad de carga.

Modo g:

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$$

Modo h:

$$F_{v,Rk} = 0.5 \cdot f_{h,2,k} t_2 d$$

Modo j:

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

Modo k:

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

Considerando el resultado de los 4 posibles modos en que puede fallar la unión clavada, el valor característico ($F_{v,Rk}$) corresponde al menor resultado calculado según los 4 modos de falla.

Capacidad de Carga o Carga admisible.

El Eurocódigo 5 considera que el valor final de la capacidad de carga (R_d) debe ser afectada por un factor de modificación y un factor de seguridad que se explican con material obtenido del “Documento Básico SE-M” que significa manual de Seguridad Estructural de la Madera del reglamento de España, que es el equivalente al reglamento del Eurocódigo 5. A continuación se muestra el detalle

para obtener dichos factores así como el desarrollo para obtener el valor de la resistencia a Doble cizallamiento expresado de manera general con el nombre de la capacidad de carga de cálculo:

Se define el valor de la capacidad de carga de cálculo R_d (referida a una unión y un plano de corte), según la expresión:

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

Donde:

R_d : Capacidad de carga de diseño.

R_k : Capacidad de carga de característica.

γ_M : Coeficiente parcial de seguridad de la madera.

K_{mod} : Factor de modificación, cuyos valores figuran en la **Tabla 11**, teniendo en cuenta, previamente, la clase de duración de la combinación de la carga de acuerdo con la **Tabla 10** y la clase de servicio.

Tabla 10: Tipos de duración de carga según su uso.
Fuente: Documento Básico SE-M Madera. (Ref. 12)

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la acción en valor característico	Acción
Permanente	más 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 >1000 m
Corta	menos de una semana	viento; nieve en localidades de < 1000 m
Instantánea	algunos segundos	sismo

Para seleccionar el factor de modificación se debe considerar las clases de servicio según la temperatura y la humedad relativa que se muestra a continuación:

- a) 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.
- b) 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.
- c) Clase de servicio 3: Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2. (Ref. 12, pág. 6)

Tabla 11: Valores factores de modificación K_{mod} .
Fuente: Documento Básico SE-M Madera. (Ref. 12)

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-EN 14081-1:2016	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
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080:2013	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

Si una combinación de acciones incluye acciones pertenecientes a diferentes clases de duración, el factor K_{mod} . Debe elegirse como el correspondiente a la acción de más corta duración. (Ref. 12, pág. 7)

Tabla 12: Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M
Fuente: D B SE-M (Ref. 12)

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:	1,0

Finalmente aplicando los respectivos factores se obtiene la carga admisible para uniones sometidas a simple cizallamiento.

2.10 UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA BRASILEIRA (NBR 7190)

Estas reglas, de igual manera que las europeas, adoptaron el formato de los estados límite para el diseño estructural. Esta norma es la única que no tiene como base el modelo propuesto por Johansen (1949) para obtener los valores de diseño de uniones clavadas. (Ref. 4, Pág. 39)

La resistencia de las uniones clavadas para una sección de corte se calcula en función del aplastamiento de la madera ($f_{e\theta d}$), la fluencia del clavo (f_{yd}), del diámetro del clavo (d) y del espesor convencional (t) que resulta de la selección del menor de los espesores de las piezas de madera de la unión.

El parámetro β y el parámetro β límite son expresiones que cuando se comparan nos permites saber el tipo de falla que tiene la unión clavada y estos parámetros se calculan con las siguientes expresiones:

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

$$\beta_{lim} = 1.25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{e\theta d}}}$$

Siendo:

t : Menor espesor de las piezas de madera (mm)

d : Diámetro del clavo (mm)

$f_{e\theta d}$: Resistencia de diseño al aplastamiento de la madera

f_{yd} : Resistencia de fluencia del clavo

Según la norma Brasileira se toma el siguiente criterio, si $\beta \leq \beta_{lim}$ la resistencia de diseño por clavo y por sección de corte es la siguiente:

$$R_{vd,1} = 0.5 t d f_{e\theta d}$$

En cambio cuando $\beta > \beta_{lim}$ significa que predomina la flexión del clavo y se calcula con la siguiente expresión:

$$\beta > \beta_{lim} \rightarrow R_{vd,1} = 0.625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd}$$

Para dos secciones de corte, se procede con los mismos criterios que para un plano de corte, al cual finalmente se le duplica el resultado, solo que aquí el

espesor convencional (t) será el menor de entre los espesores t_1 y $t_2/2$ que se pueden apreciar en la tercera imagen de la **Figura 13**. (Ref. 4, Pág. 39)

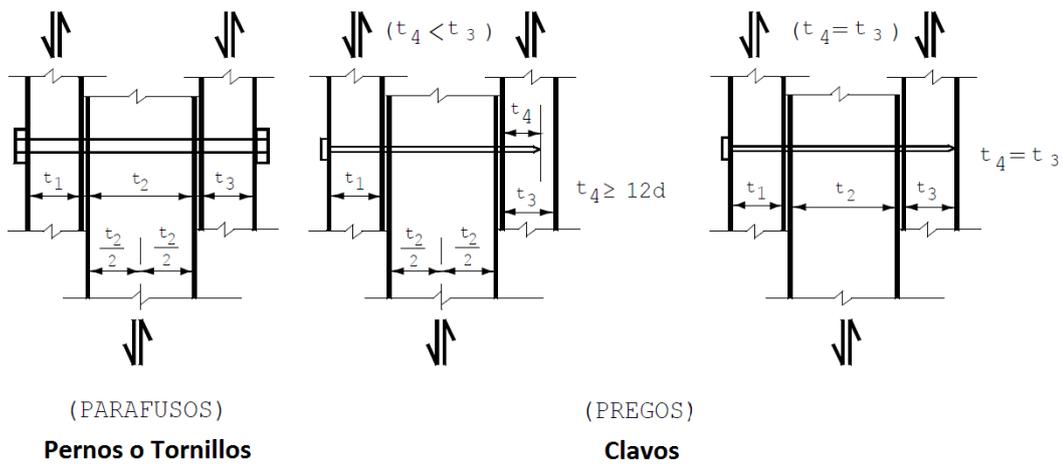


Figura 13: Espesores de las piezas de las probetas a doble cizallamiento según NBR 7190

Se debe mencionar un aspecto importante, como obtener los valores de resistencia de diseño tanto para el aplastamiento de madera ($f_{e\theta d}$) y para la fluencia del clavo ($f_{y d}$), quienes se obtienen a partir de los valores característicos del aplastamiento de la madera y de la fluencia del clavo respectivamente ($f_{e\theta k}, f_{y k}$), así también se aplica los coeficientes de minoración (γ_{ws}, γ_s) quienes reducen sus valores en cada caso, los valores de diseño mencionadas se pueden obtener con las siguientes expresiones: (Ref. 4, Pág. 39 y 40)

$$f_{e\theta d} = \frac{f_{e\theta k}}{\gamma_w}$$

$$f_{y d} = \frac{f_{y k}}{\gamma_s}$$

Donde:

$f_{e\theta k}$: Resistencia característica al aplastamiento de la madera

$f_{y k}$: Resistencia característica de fluencia del clavo.

Se presentan los coeficientes de modificación K_{mod1} , en la **Tabla 13**; K_{mod2} en la

Tabla 15 y como se obtiene K_{mod3} .

Tabla 13: Definición de Clases de carga y valores de K_{mod1}
Fuente: (Ref. 13)

Clase de Carga	Tipos de madera	
	Maderas: aserrada, rolliza, laminada encolada, 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

Tabla 14: Clases de humedades según NBR 7160
Fuente: (Ref. 13)

Clases de humedad	Humedad relativa del medio ambiente	Humedad de equilibrio de la madera
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} < 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} < 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante periodos largos	$\geq 25\%$

Tabla 15: Valores del coeficiente de modificación K_{mod2} según NBR 7190
Fuente: (Ref. 13)

Clases de humedad	Tipos de madera	
	Maderas: aserrada, laminada encolada, contrachapada	Madera recompuesta
(1) y (2)	1.00	1.00
(3) y (4)	0.80	0.90

Para obtener el coeficiente de modificación parcial K_{mod3} , se observa la madera y se identifica la calidad apreciando de la siguiente forma, si es de 1ra categoría (nuevo) le corresponde un valor de $K_{mod3} = 1,0$ y si fuera de segunda categoría le corresponde un $K_{mod3} = 0,8$. (Ref. 13, Pág. 97)

Se procede a obtener el coeficiente de modificación general K_{mod} en la siguiente expresión

$$k_{mod} = k_{mod,1}k_{mod,2}k_{mod,3}$$

Se muestra la expresión de la resistencia a doble cizallamiento por clavo y por un plano de corte:

$$R_{adm,vd,1} = k_{mod} \frac{R_{vd,1}}{\gamma_w}$$

Si el coeficiente de minoración γ_w ya fue aplicado anteriormente a un valor característico, como el aplastamiento característico de la madera, solo se usa la siguiente expresión.

$$R_{adm,vd,1} = k_{mod} R_{vd,1}$$

Finalmente, como el resultado nos proporciona la resistencia a simple cizallamiento de uniones clavadas, este valor se multiplica por 2 para tener la resistencia a doble cizallamiento.

2.11 UNIONES CLAVADAS CON LA NORMA ARGENTINA (CIRSOC 601).

Las expresiones que provee el reglamento Argentino para el cálculo de la capacidad portante en las conexiones con elementos de fijación como el clavo, se construyen a partir de las expresiones propuestas por Johansen 1949, solo que no se incorporó los valores de resistencia adicional que ofrecen la extracción del clavo y la fricción entre piezas de madera

Los procedimientos de cálculo de este código se basan en el formato de tensiones admisibles. El criterio general de diseño se corresponde con el adoptado por las reglas de EEUU (NDS 2012), en el cual fue inspirado, y es también similar al incorporado a las reglas chilenas (NCh 1198 2007). El cálculo de la capacidad portante de las uniones clavadas por clavo se calcula también por los modos de falla en las uniones, las expresiones para cada modo de falla se presentan en la **Tabla 16**, expresiones cuyos símbolos originales de la norma Americana se han mantenido y que de alguna forma tiene un esquema similar a las propuestas originalmente por Johansen. (Ref. 4, Pág. 35)

El objetivo es calcular la capacidad portante seleccionando el mismo valor de los resultados de los 4 modos de falla. Al cual finalmente se le afectan por coeficientes de reducción que nos permiten obtener el valor admisible de diseño por clavo y por plano de corte. Si se desea tener como resultado final el valor de la carga admisible de toda la unión clavada (con todos sus clavos) simplemente se multiplica el número de clavos por el valor de diseño para un clavo y si existe efecto grupal se considera su participación. (Ref. 4, Pág. 35)

Tabla 16: Expresiones de capacidad portante correspondientes a los modos de rotura según la Norma CIRSOC 601
Fuente: (Ref. 14)

Modo de rotura	Una sección de corte	Dos secciones de corte
I _m	$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d}$	$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d}$
I _s	$Z = \frac{D \ell_s F_{es}}{R_d}$	$Z = \frac{2D \ell_s F_{es}}{R_d}$
II	$Z = \frac{k_1 D \ell_s F_{es}}{R_d}$	
III _m	$Z = \frac{k_2 D \ell_m F_{em}}{(1 + 2R_e) R_d}$	
III _s	$Z = \frac{k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$	$Z = \frac{2k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$

siendo:

D el diámetro nominal del elemento de fijación cuando éste no es roscado o cuando la zona roscada está suficientemente lejos de las secciones de corte.

F_{em} la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal.

F_{es} la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral.

F_{yb} la tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación.

ℓ_m la longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal.

ℓ_s la longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral.

R_d el coeficiente de reducción.

R_e F_{em} / F_{es}

R_t ℓ_m / ℓ_s

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

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}\ell_m^2}}$$

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

Procedimiento para obtener el Esfuerzo admisible a doble cizallamiento:

Se inicia el proceso de cálculo teniendo los parámetros tales como la gravedad específica anhidra (G), así como también los espesores de las piezas de madera del espécimen, llamados la longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal (l_m), la longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral (l_s) y el diámetro del Clavo (D) quien nos definirá que expresión se usara para el cálculos de la Resistencia al Aplastamiento de Referencia, ver **Figura 14**.

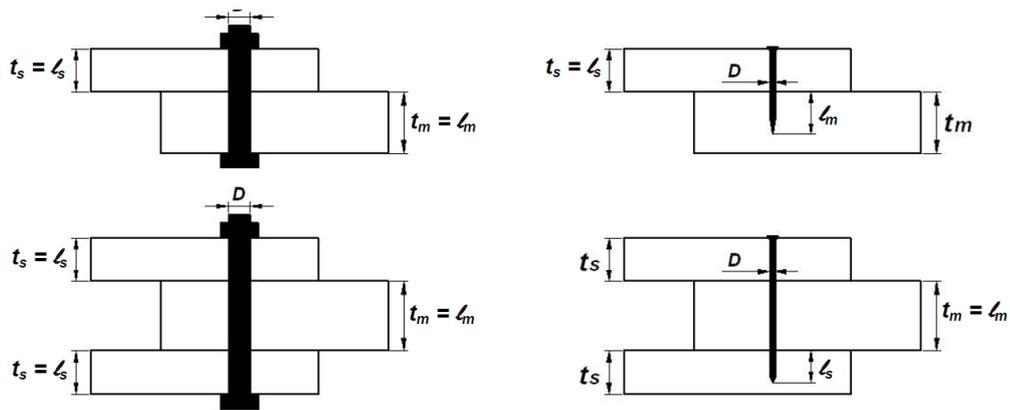


Figura 14: Uniones con una y dos secciones de corte según Norma CIRSOC 601.

La norma Argentina cuenta con una expresión para calcular el aplastamiento de la madera (F_e) en uniones clavadas, esta expresión se usa para clavos menores a 6.35mm de diámetro, por lo que la resistencia se calcula de la siguiente manera:

$$F_e = 114.4 G^{1.84}$$

Con la expresión anterior calculamos los valores de la resistencia al aplastamiento de cada miembro, tanto la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal (F_{em}) correspondiente a la longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal (l_m) y la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral (F_{es}) correspondiente a la longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral (l_s),

Luego se obtiene la relación de resistencias al aplastamiento de cada miembro con la siguiente expresión:

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

Además se halla el coeficiente de reducción (R_d) seleccionando las expresiones sugeridas por la norma CIRSOC 601, que se muestra en la **Tabla 17**. Primero se calcula (K_θ) y luego (K_D) para obtener el coeficiente de reducción

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

$$K_D = 2.2, \text{ para diámetros } D \leq 4.3\text{mm.}$$

$$R_d = K_D K_\theta$$

Tabla 17: Coeficientes de Reducción (R_d) según Norma CIRSOC 601
Fuente: (Ref. 14)

D	Modo de rotura	R_d
$6,35 \text{ mm} \leq D \leq 25,4 \text{ mm}$	I _m , I _s	4 K_θ
	II	3,6 K_θ
	III _m , III _s , IV	3,2 K_θ
$D < 6,35 \text{ mm}$	I _m , I _s , II, III _m , III _s , IV	$K_D^{(1)}$
siendo: θ el 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_θ $1 + 0,25(\theta / 90)$ D el diámetro del elemento de fijación (mm) K_D - para $D \leq 4,3 \text{ mm}$ es $K_D = 2,2$; - para $4,3 \text{ mm} < D < 6,35 \text{ mm}$ es $K_D = 0,38 D + 0,56$		
(1) En elementos de fijación roscados con $D \geq 6,35 \text{ mm}$ y $D_r < 6,35 \text{ mm}$, $R_d = K_D K_\theta$		

Por otro lado, se calcula la tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación (Clavo), con relación a las propiedades mecánicas de los elementos de fijación. Estas reglas consideran en línea el criterio vigente en códigos de diseño estadounidenses, la carga de fluencia en flexión (F_{yb}) viene a ser el promedio de la tensión de fluencia del clavo (F_{yk}) y la tracción del mismo (F_{uk}), donde estos últimos pueden obtenerse del laboratorio, a continuación se presenta la expresión de cálculo de la tensión de fluencia en flexión (F_{yb}):

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

Donde:

F_{yk} : Valor característico de la tensión de fluencia (N/mm²)

F_{uk} : Resistencia última en tracción (N/mm²)

A continuación es necesario calcular el parámetro (k_3) debido a que según la **Tabla 16** que se vio anteriormente, el cálculo del esfuerzo o capacidad portante Z

según el modo de rotura III_s para 2 secciones de corte de la madera, es necesario el valor de (k_3) y se obtiene con la expresión mostrada en la parte inferior de dicha tabla.

Luego se hace el llamado a todas las expresiones para el cálculo de las capacidades portantes Z según los modos de rotura para 2 secciones de corte de la **Tabla 16** y se calcula de la siguiente forma:

$$Z = \frac{D L_m F_{em}}{R_d} \text{ Modo de falla } I_m \text{ (h)}$$

$$Z = \frac{2 D L_s F_{es}}{R_d} \text{ Modo de falla } I_s \text{ (g)}$$

$$Z = \frac{2 K_3 D L_s F_{em}}{(2+R_e)R_d} \text{ Modo de falla } III_s \text{ (j)}$$

$$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}} \text{ Modo de falla } IV \text{ (k)}$$

Del cálculo de estas expresiones se selecciona la menor de todas.

$$Z_{car} = \min Z, \text{ de los modos (Im,Is,III_s,IV)} \quad (\text{Kg})$$

Seguidamente se analizan y se selecciona los factores de ajuste $C_D, C_M, C_t, C_g, C_{tn}$ para obtener el esfuerzo admisible.

Factor de duración de la carga (C_D)

Los valores de (C_D) por los cuales se deben multiplicar los valores de diseño de referencia para las tensiones, con el fin de tener en cuenta el cambio en la resistencia del material en función del tiempo de actuación de la carga, serán los indicados en la **Tabla 18**. (Ref. 14, Cap. 8 – pág. 85)

Tabla 18: Tabla de Factores de duración de la carga (C_D) según Norma CIRSOC 601.
 Fuente: (Ref. 14)

Duración de la carga	C_D	Ejemplo de carga
Permanente	0,9	Peso propio
10 años (duración normal)	1,0	Sobrecarga de uso
2 meses	1,15	Nieve
7 días	1,25	Constructiva
10 minutos	1,6	Viento, sismo
Instantánea	2,0	Carga accidental

Factor de condición de servicio (C_M)

Los valores que se proveen en el Reglamento Argentino para calcular la resistencia lateral de diseño de referencia Z , están referidos a un contenido de humedad en servicio que corresponde a los miembros estructurales ubicados en lugares ventilados o espacios semicubiertos (estado seco). (Ref. 14, Cap 8 - pág 85)

Se muestra valores del factor de condición de servicio, tomando en consideración el estado durante la fabricación y durante su uso como se aprecia en la **Tabla 19**.

Tabla 19: Tabla de Factores de condición de servicio (C_M) según Norma CIRSOC 601.
Fuente: (Ref. 14)

Contenido de humedad en el material		C_M
Al construir la unión	Durante la vida útil	
seco	seco	1,0
húmedo	seco	0,4 ⁽¹⁾
cualquiera	húmedo	0,7

(1) $C_M = 0,7$ cuando $D < 6,35$ mm; $C_M = 1,0$ cuando todos los elementos se ubican sobre una fila (paralela a la dirección de la fuerza)

Factor de temperatura (C_t)

Cuando las uniones están expuestas a temperaturas inferiores a 40 °C su comportamiento es normal tomando el valor de $C_t = 1$, en cambio cuando se exponen a temperaturas comprendidas entre 40 °C y 65 °C por un tiempo prolongado, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deben ser ajustados a través de los valores de (C_t) indicados en la **Tabla 20** Temperaturas superiores a 65 °C pueden producir daños permanentes, sobre todo cuando su actuación es prolongada y su consideración queda fuera de su Reglamento. (Ref. 14, Cap. 8 – pág. 86)

Tabla 20: Tabla de Factores de temperatura (C_t) según Norma CIRSOC 601.
Fuente: (Ref. 14)

Tensiones y módulo de elasticidad	Condición de servicio en estado:	C_t		
		$T \leq 40$ °C	40 °C < $T \leq 52$ °C	52 °C < $T \leq 65$ °C
$F_t, E, E_{0,05}, E_{min}$	cualquiera	1,0	0,9	0,9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	seco	1,0	0,8	0,7
	húmedo	1,0	0,7	0,5

Factor de acción de grupo (C_g)

Si en la unión clavada se incrustan más de 2 clavos, la capacidad portante es afectada por un factor de acción de grupo (C_g). Este ajuste es necesario por lo general cuando el diámetro de los clavos es grande, porque para diámetros pequeños no tiene mayor alcance. (Ref. 14, Cap. 8 – pág. 86)

Para uniones con elementos de fijación con $D < 6,35$ mm se debe utilizar $C = 1,0$.

Para uniones con elementos de fijación con $6,35 \text{ mm} \leq D \leq 25,4$ mm, C se usa otras expresiones que se encuentran en la Norma CIRSOC 601.

Factor de clavado oblicuo (C_{tn})

Se usa un factor de clavado oblicuo $C_{tn} = 0,83$ si el clavo hace un ángulo menor de 90° con la dirección de las fibras de la madera, pero si no fuera el caso y no hay clavado oblicuo, se coloca un valor $C_{tn} = 1$. (Ref. 14, Cap. 8 – pág. 89)

Resistencia Admisible a doble cizallamiento (Z_{adm})

Finalmente usamos los factores de ajuste multiplicando a la capacidad portante, para obtener el esfuerzo admisible a doble cizallamiento con la expresión siguiente:

$$Z_{adm} = Z_{car} C_D C_M C_t C_g C_{tn} \quad (\text{Kg})$$

2.12 UNIONES CLAVADAS CONSIDERANDO LA CARGA A 0.38MM DE DEFORMACIÓN SEGÚN CODIGO DE LOS EE.UU. (USDA)

USDA son las siglas del departamento de Agricultura de los Estados Unidos quienes presentan en su manual "Wood Handbook-Wood as an Engineering Material" donde contiene todo lo concerniente respecto a las propiedades físicas y mecánicas de la madera, así como criterios de diseño para obtener esfuerzos admisibles como es nuestro caso, el tema particular de resistencia lateral de uniones clavadas en madera seca.

Las cargas para deformaciones de 0.38mm (0.015 in.) "cargas dentro de límites aproximadamente proporcionales" para clavos comunes de alambre brillante en resistencia lateral impulsados lateralmente (perpendicular a las fibras de madera) en maderas secas, son expresadas por la expresión empírica. (Ref. 15, Cap. 8- Pág. 6)

$$P = K D^{3/2}$$

Donde P es la carga lateral por clavo, k un coeficiente de carga lateral y D diámetro del clavo. Los valores del coeficiente K se enumeran en la **Tabla 21** para rangos de gravedad específica para maderas duras y maderas blandas. Las cargas brindadas por la ecuación se aplican solo donde el miembro lateral y el miembro que sostiene el clavo ambos tienen la misma densidad. (Ref. 15, Cap. 8- Pág. 6)

Tabla 21: Coeficientes para calcular las cargas de prueba para uniones clavadas en madera seca según USDA
Fuente: (Ref. 15)

Rango de gravedad específica	Coeficiente de carga lateral K (Unidades métricas (inch-pound))		
	Clavos	Tornillos	Tirafondos
Maderas duras			
0.33-0.47	50.04 (1440)	23.17 (3360)	26.34 (3820)
0.48-0.56	69.50 (2000)	31.99 (4640)	29.51 (4280)
0.57-0.74	94.52 (2720)	23.17 (6400)	34.13 (4950)
Maderas blandas			
0.29-0.42	50.04 (1440)	23.17 (3360)	23.30 (3380)
0.43-0.47	62.55 (1800)	29.79 (4320)	26.34 (3820)
0.48-0.52	76.45 (2200)	36.40 (5280)	29.51 (4280)

3 CAPÍTULO III: ENSAYOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO PARA OBTENER LOS VALORES ADMISIBLES DE UNIONES CLAVADAS

3.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE UNIONES CLAVADAS

Diseño experimental de uniones clavadas

Las probetas de ensayo se diseñaron para uniones con 4 clavos hincados de un solo lado y sometidas a doble cizallamiento, los ensayos se realizaron siguiendo el esquema que se presenta a continuación y utilizando probetas cuyas dimensiones por tipo de unión clavada varían en el espesor.

Para cada tipo de clavo o unión clavada se muestra el detalle de las probetas

- Número de especies estudiadas: 1
- Tipos de unión clavada con clavos de diferente tamaño: 3
- Número de probetas por tipo de clavo: 40

Requerimiento total de probetas: 120

Antes del proceso de fabricación de los especímenes para los ensayos de uniones clavadas, primero se visitó una gran cantidad de madereras que proveen la especie maderable Pashaco con la ayuda de un técnico especialista. A continuación se muestra las actividades que se realizaron para hacer posible la fabricación de los especímenes de madera para luego conseguir nuestro objetivo de ensayar en el laboratorio.

- Búsqueda de la especie maderable
- Identificación de la madera Pashaco y validación por el especialista
- Compra de la madera Pashaco así como corte respectivo de las piezas de madera según geometría definida.
- Traslado de las piezas de madera desde la maderera al taller de carpintería de Servicios Generales de la UNI.
- Trabajos de Cepillado armado y clavado de un poco más de 120 especímenes pequeños de madera
- Traslado de los especímenes desde el taller de carpintería hasta el Laboratorio N°1 de Ensayo de materiales de la UNI.

3.1.1 Identificación y compra de la Madera

La compra de madera Pashaco, se realizó en la Maderera El Otorongo que se encuentra en el distrito de San Martín de Porras-Manzana B Lote 2-Av. Los Olivos de San Vicente-en el departamento de Lima, ver **Figura 15** donde se puede apreciar la fachada de la maderera.



Figura 15: Maderera El Otorongo, inversiones L&F

Con el objetivo de tener certeza de que la madera que se desea estudiar corresponde a la especie maderable Pashaco, se hizo la respectiva identificación de la especie maderable antes de la compra, para lo cual se solicitó el apoyo a un técnico del Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM y luego se llevó la muestra al respectivo laboratorio en el cual se hizo su clasificación, (ver anexo B) .

La madera en estado seco, se encontraba en tablones de distinto tamaño como se puede ver **Figura 16**, Identificada la especie Pashaco, se procedió a hacer la compra de 578 pie² a S/. 3.50 por pie² de madera (ver anexo A), de los cuales para los ensayos principales de Uniones clavadas se usó efectivamente 139.5 pie² y otro tanto se usó para los ensayos complementarios sobrando desperdicios por la gran cantidad de cortes realizados para obtener las tablitas.



Figura 16: Tablones de madera Pashaco (*Albizzia sp.*)

El personal de la maderera hizo los cortes de la tablitas según las especificaciones de la geometría que se definió en la **Tabla 22**, entonces se hizo el corte de tablitas para 135 uniones haciendo un total de 405 tablitas, ver **Figura 17**, son 45 uniones por cada tipo de unión clavada (2", 2" ½ y 3") en realidad para efectos de ensayo solo se necesitan 120, 40 por cada tipo de unión. Las 5 unidades adicionales por tipo de unión son para pruebas iniciales y probables ensayos fallidos por ajuste en la etapa inicial.



Figura 17: Piezas de madera Pachaco para uniones clavadas y otros ensayos.

Una vez realizado el corte se hizo el traslado con sumo cuidado desde la Maderera hasta la UNI, para lograr llevarlo al taller de carpintería y fabricar las probetas. También se tuvo que hacer la compra de clavos antes del armado de las probetas

3.1.2 Elaboración de Probetas

Para el ensayo de resistencia a doble cizallamiento de Uniones clavadas se prepararon 135 probetas de las cuales solo se validaron los resultados de 120

probetas de la especie maderable Pashaco, las que cumplen con las consideraciones mínimas planteadas en la Norma E010 o que es lo mismo el manual de diseño del acuerdo de Cartagena.

Cantidad y dimensiones de las Uniones clavadas (Probetas)

La configuración geométrica de cada tipo de probeta se observa en la **Figura 18**, a continuación se describe un detalle resumido de las piezas que constituyen cada tipo de unión:

40 probetas; conformadas por 2 piezas laterales de 1.4x10x35 cms. y una pieza central de 2.7x10x35 cms ; correspondientes a las uniones con clavos de 2" de longitud.

40 probetas; conformadas por 2 piezas laterales de 1.7x10x35 cms. y una pieza central de 3.3x10x35 cms.; correspondientes a las uniones con clavos de 2" ½ de longitud.

40 probetas; conformadas por 2 piezas laterales de 1.9x10x35 cms. y una pieza central de 3.8x10x35 cms.; correspondientes a las uniones con clavos de 3" de longitud.

Cantidad de Clavos

Se hizo la compra de clavos de la marca Prodac (ver anexo A) y para la fabricación de las probetas se dispuso la siguiente distribución

160 clavos de 2" aproximadamente (5.4 cm) de longitud y 2.7 mm de diámetro.

160 clavos de 2 ½ " aproximadamente (6.7 cm) de longitud y 3.3 mm de diámetro.

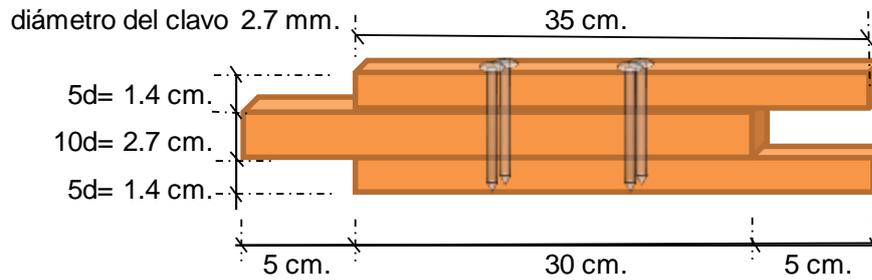
160 clavos de 2" aproximadamente (7.6 cm) de longitud y 3.8 mm de diámetro.

Las probetas que se ensayaron se plantearon con un espesor que cumple según la norma E010 del reglamento que se planteó en la **Figura 6**.

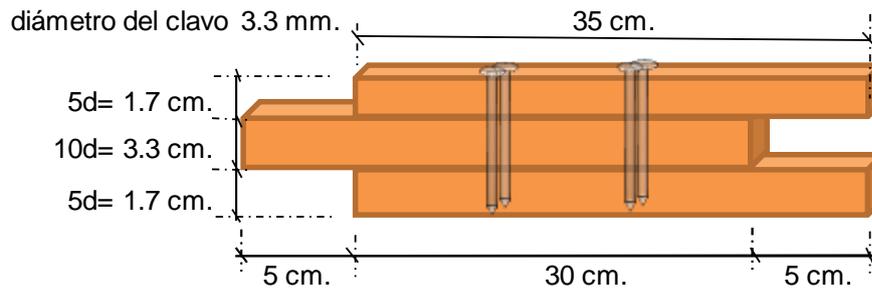
Para armar las uniones clavadas, se planteó una geometría y separación de clavos según otras investigaciones hechas anteriormente tal como se observó en la **Figura 7** y ahora se puede ver esos detalles tales como el espaciamiento entre clavos, así como la ubicación respecto a los bordes; también el espesor, el ancho y el largo de las piezas de maderas para los probetas en la **Figura 18**.

Planteamiento de la geometría y el armado de las probetas

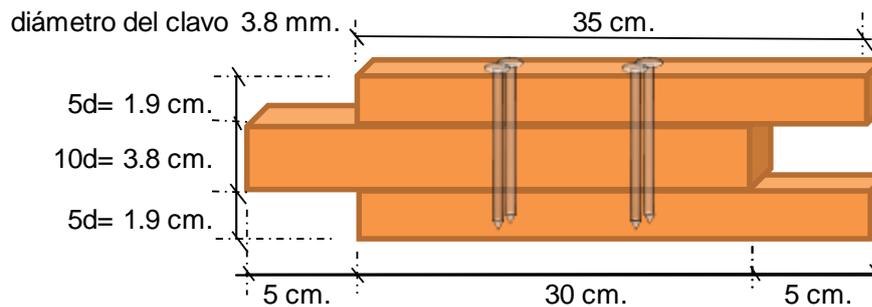
Especímen con Clavos de 2" - Geometría de la probeta A



Especímen con Clavos de 2 1/2"- Geometría de la probeta B



Especímen con Clavos de 3" - Geometría de la probeta C



Vista en planta para los 3 tipos de Especímenes: A, B y C

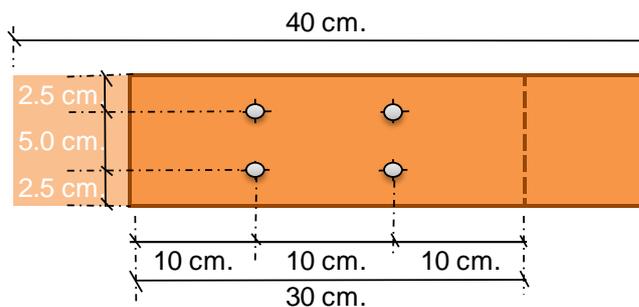


Figura 18: Geometría definida y distancia entre clavos para los tres tipos de uniones clavadas

El armado de las probetas de uniones clavadas fue llevado a cabo en el taller de carpintería, que corresponde a la Oficina Central de Servicios Generales de la UNI al cual se solicitó los permisos correspondientes (ver Anexo C).

Para un adecuado ensayo la madera debe estar libre de defectos para tener una superficie lo más impecable posible se hizo el cepillado de todas las tablas.

Después se continuó con el proceso de clavado de las uniones (**Figura 19**), para facilitar el marcado de los puntos donde clavar se usaron plantillas de triplay y se procedió al marcado de puntos donde se hincó los clavos. El armado de probetas se realizó cuidadosamente escogiéndose los clavos a fin de evitar usar clavos defectuosos, oxidados, con protuberancias o deformaciones. La punta del clavo tiene un efecto definido en la penetración del mismo y tratándose de una unión con madera de baja densidad, el hincado sobre las tablas de la madera Pashaco no tuvo muchas dificultades en la penetración, pero si se realizaron con sumo cuidado para que se logre la perpendicularidad deseada del clavo respecto a la madera.



Figura 19: Armado y clavado de las uniones.

Finalmente, armadas las probetas de uniones clavadas, se trasladó con sumo cuidado desde el taller de carpintería hacia el laboratorio N°1 de ensayo de materiales, Para traslado se hicieron una gran cantidad de Viajes para no dañar los especímenes. En la **Figura 20** observamos las probetas en el Laboratorio.



Figura 20: Probetas a ensayar en el LEM-UNI

3.2 ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNIONES CLAVADAS

La propiedad mecánica fundamental que es la razón de esta tesis se desarrolla en el siguiente ensayo:

“Ensayo de Resistencia a doble Cizallamiento de Uniones clavadas” o simplemente ensayo de Uniones Clavadas en madera Pashaco, también conocido con el nombre de “Resistencia a la Carga lateral de uniones clavadas” este último nombre es denominado por la ASTM D 1761-12.

Existen otras propiedades mecánicas a las cuales denominaremos Ensayos de propiedades Complementarias de la madera Pashaco que se presentan en esta Tesis y se obtienen de los siguientes ensayos:

Ensayo de aplastamiento de la madera.

Ensayo de tracción del clavo.

Ensayo de extracción de clavos

3.2.1 Ensayo de Uniones clavadas a Doble Cizallamiento por tipo de clavo

Los ensayos de resistencia a doble cizallamiento en uniones clavadas fueron llevados a cabo en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para obtener la resistencia a doble cizallamiento de las Uniones Clavadas, se siguió los procedimientos según los establecido en la norma “ASTM 1761-12 publicada el 2012” los lineamientos específicos más relevantes fueron mencionados en el capítulo 2.

3.2.1.1 Equipos utilizados

La resistencia al corte de uniones clavadas en madera Pashaco fueron realizados por la máquina Universal Amsler. (Universal Test Machine.) La cual provee al ensayo la carga principal que se distribuye simétricamente sobre toda la probeta, la carga es registrada por la computadora gracias al sensor de compresión de carga, así también el desplazamiento de la unión es enviado a la computadora gracias al LVDT, Los equipos mencionados se presentan a continuación y se pueden observar en las figuras:

- Máquina Universal AMSLER de 50 Ton de capacidad (**Figura 21**)
- Computadora con incorporación de un sistema de adquisición de datos PXI/SCXI. (**Figura 22**)
- Sensor de compresión de carga, DINI ARGEO, 50 ton. (**Figura 23**)
- LVDT marca OMEGA, modelo LD320-50. (**Figura 24**)
- Sujetador mecánico con bloque magnético marca INZISE. (**Figura 25**)
- Aceros fabricados artesanalmente para medir desplazamiento.



Figura 21: Maquina Universal AMSLER, 50 ton. de capacidad.
Fuente: Elaborada por el autor.



Figura 22: Computadora con sistema de adquisición de datos PXI/SCXI.



Figura 23: Sensor de compresión de carga, DINI ARCEO, 50 ton. de capacidad.



Figura 24: LVDT marca OMEGA, modelo LD320-50.



Figura 25: Sujetadores mecánicos con bloques magnéticos marca INZISE.

3.2.1.2 Procedimiento de ensayo

Se realizaron 120 ensayos de resistencia a doble cizallamiento en uniones clavadas de la especie forestal Pachaco, de las cuales (40 son uniones con clavos de 2" de longitud, 40 son uniones con clavos de 2 ½" de longitud y 40 son uniones con clavos de 3" de longitud).

Se armó cada probeta colocando aceros de forma L a cada lado de la cara de la probeta, que será donde descansen los LVDTs, luego se instaló la probeta y los sujetadores en la Máquina universal, después se colocó cada LVDT en el sujetador mecánico de tal forma que se encuentre vertical paralelo al eje de la probeta (**Figura 26**).

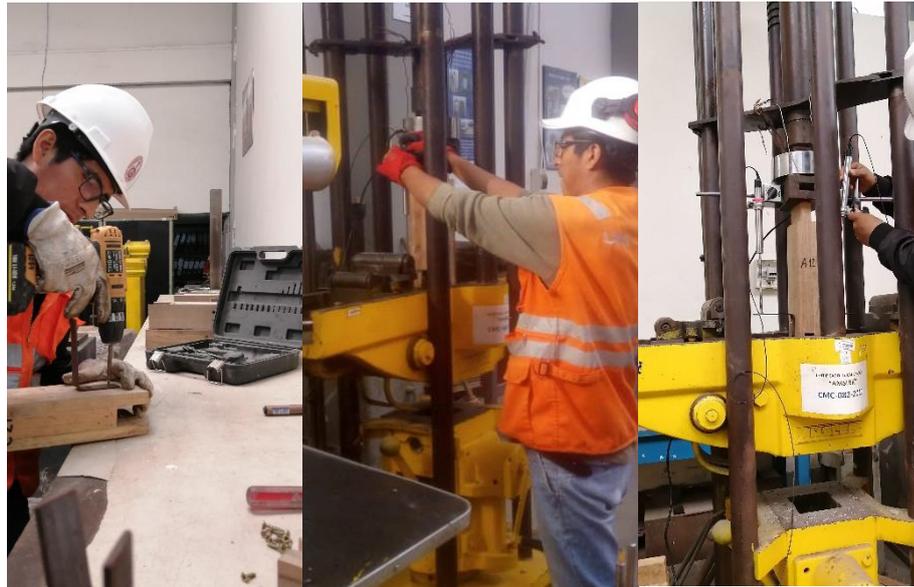


Figura 26: Armado e instalación de la probeta y los dispositivos LVDTs en la Máquina Universal

Instalado correctamente cada probeta en la Máquina Universal se procedió a calibrar la velocidad del ensayo según la norma de ensayo (**Figura 27**), la cual especifica una velocidad de carga de $2.54 \text{ mm/min} \pm 25\%$.



Figura 27: Regulación de la velocidad de la carga e inicio del ensayo de uniones clavadas.

Se inicia la prueba accionando simultáneamente el registro de datos en el programa de la computadora y el dispositivo de carga de la prensa. El ensayo donde se aplica la carga (**Figura 28**) tiene una duración alrededor de 10 minutos por probeta, siendo las probetas tipo C las que duraban hasta 15 minutos por ser las uniones de mayor espesor y con mayor longitud y diámetro de clavo.



Figura 28: Aplicación de la carga de compresión paralela a las fibras en la probeta tipo A (Unión clavada de 2" de longitud del clavo).

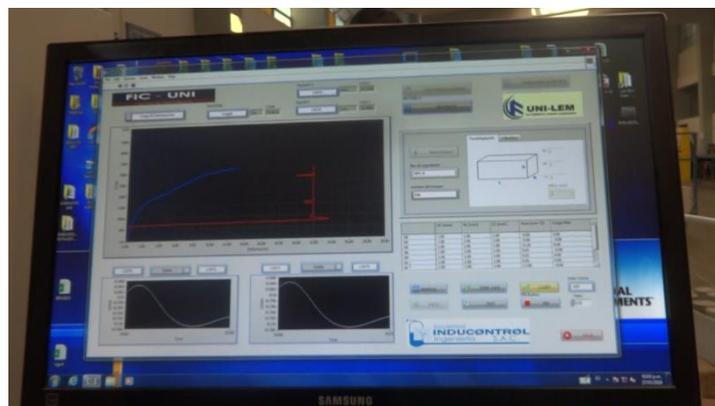


Figura 29: Registro de datos en tiempo real en la computadora

En la **Figura 29** se puede observar que la computadora hizo el registro de las cargas y desplazamientos mientras la prensa de carga continuaba con su acción hasta llegar a alcanzar la carga máxima. De los cuales nos interesa la carga a la deformación de 0.38 mm. y la carga última los cuales se obtienen en Gabinete

Se apaga el dispositivo de la carga de la máquina universal, se guarda los datos registrados en la computadora y se vuelve a realizar un nuevo ensayo de la misma forma. Finalmente, en la **Figura 30** podemos observar una distribución apiladas de los 120 especímenes ensayados, antes de ser retirados del laboratorio para

llevarlos a la carpintería, donde se realiza el respectivo corte para muestras de densidad y contenido de humedad.



Figura 30: Todas las probetas ensayadas, lado derecho de la imagen uniones con clavos de 2", al centro las de 2" 1/2 y al lado izquierdo las uniones de 3"

3.2.1.3 Expresión de resultados

Para la representación de resultados de las resistencias a doble cizallamiento previamente se desarrolló un trabajo de gabinete que consistió en los siguientes pasos:

A partir de los datos registrados en la computadora se exporta a unas hojas de cálculo de Excel en la cual se buscó la carga para una deformación de 0.38mm y la carga máxima de cada una de las probetas de las tres categorías de uniones por tipo de clavo

Luego se consolido los datos registrados siguientes: para las probetas del tipo A en la **Tabla 22**; para probetas tipo B, en la **Tabla 23** y para probetas tipo C, en la **Tabla 24**.

Tabla 22: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo A
(Uniones con clavos de 2")

Fuente: Elaborado por el autor

PROBETA	CARGA A (0.38 mm) (kg)	CARGA ÚLTIMA	
		DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
A-1	564.05	9.36	814.38
A-2	546.01	11.19	1014.91
A-3	499.39	6.77	849.84
A-4	558.04	8.74	1011.92
A-5	724.85	11.94	1040.54
A-6	527.43	6.63	742.07
A-7	455.88	14.83	928.94
A-8	559.94	11.62	937.68
A-9	479.08	14.81	962.45
A-10	496.40	10.79	928.27
A-11	457.46	11.98	798.53
A-12	545.62	11.46	914.09
A-13	446.56	14.72	1120.38
A-14	568.11	5.64	941.90
A-15	537.76	12.58	958.80
A-16	390.96	14.52	884.47
A-17	410.26	10.52	819.12
A-18	581.39	9.61	1004.24
A-19	493.93	12.61	1026.13
A-20	464.65	12.43	986.60
A-21	515.11	13.43	941.08
A-22	338.77	18.70	1176.98
A-23	462.81	13.73	961.95
A-24	431.62	15.39	1122.57
A-25	485.24	15.18	1058.82
A-26	236.43	10.50	891.51
A-27	374.82	8.02	987.65
A-28	450.17	13.70	1134.75
A-29	150.37	16.17	759.44
A-30	78.08	14.73	962.63
A-31	216.83	8.95	979.89
A-32	282.22	10.59	834.98
A-33	371.74	13.72	953.50
A-34	181.72	13.81	1064.65
A-35	302.20	12.65	1039.76
A-36	319.10	10.08	1178.43
A-37	404.22	16.07	913.54
A-38	244.48	12.77	892.75
A-39	284.69	15.37	1109.51
A-40	483.39	11.18	1089.93

Tabla 23: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo B
(Uniones con clavos de 2 ½ ")
Fuente: Elaborado por el autor

PROBETA	CARGA A (0.38 mm) (kg)	CARGA ÚLTIMA	
		DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
B-1	286.24	15.68	1268.73
B-2	578.56	11.70	1397.69
B-3	931.61	10.88	1328.03
B-4	674.18	18.06	1278.91
B-5	586.85	14.96	1652.31
B-6	323.15	15.08	1474.93
B-7	644.19	14.13	1441.87
B-8	842.89	12.31	1372.70
B-9	676.52	15.26	1449.80
B-10	402.87	13.26	1386.56
B-11	403.26	15.47	1539.33
B-12	544.22	11.94	1273.87
B-13	463.36	13.97	1557.93
B-14	256.37	11.81	1425.31
B-15	477.31	14.97	1363.30
B-16	469.41	15.01	1310.95
B-17	542.97	13.65	1301.05
B-18	619.63	12.63	1358.12
B-19	411.72	20.51	1497.84
B-20	707.67	14.74	1410.73
B-21	435.27	13.23	1433.24
B-22	572.45	14.16	1460.72
B-23	396.32	15.68	1345.42
B-25	326.40	17.83	1456.19
B-24	647.43	11.54	1386.11
B-26	665.41	12.16	1557.45
B-27	647.57	22.16	1417.49
B-28	598.72	13.62	1288.44
B-29	414.44	16.42	1305.80
B-30	513.30	18.42	1340.05
B-31	570.51	16.28	1336.17
B-32	625.63	10.87	1348.17
B-33	631.55	15.98	1312.43
B-34	391.83	14.99	1242.15
B-35	376.29	10.34	1223.88
B-36	429.83	15.08	1343.46
B-37	764.47	11.47	1453.68
B-38	448.01	14.13	1328.85
B-39	607.06	15.57	1343.98
B-40	746.29	17.14	1607.38

Tabla 24: Cargas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas para las uniones tipo C (Uniones con clavos de 3")

Fuente: Elaborado por el autor

PROBETA	CARGA A (0.38 mm) (kg)	CARGA ÚLTIMA	
		DEFORMACION (mm)	CARGA (kg)
C-1	836.31	16.85	1711.27
C-2	736.48	19.02	1861.68
C-3	790.40	23.51	1778.85
C-4	478.53	17.74	1641.92
C-5	590.21	14.42	1761.74
C-6	574.97	22.20	1541.72
C-7	489.13	14.13	1777.46
C-8	646.37	19.42	2094.52
C-9	711.14	24.57	1760.34
C-10	448.41	20.71	1816.95
C-11	428.69	17.86	1755.59
C-12	654.72	18.01	1685.14
C-13	669.80	11.88	2024.31
C-14	455.50	19.83	1722.17
C-15	649.07	18.17	1896.45
C-16	581.45	17.18	1739.12
C-17	961.79	17.57	2370.87
C-18	640.37	21.73	2304.08
C-19	707.28	15.17	1758.20
C-20	661.53	15.45	2118.76
C-21	710.50	13.41	1777.44
C-22	330.55	16.15	1746.06
C-23	618.19	18.23	1755.89
C-24	790.55	20.81	1854.27
C-25	552.57	21.60	1773.19
C-26	518.21	20.43	2386.61
C-27	473.88	15.07	1468.14
C-28	618.12	20.26	1520.63
C-29	843.86	18.92	2027.48
C-30	665.31	18.09	2071.78
C-31	718.65	18.97	1834.99
C-32	474.91	23.84	1612.84
C-33	771.53	15.59	1950.11
C-34	781.70	21.29	2052.06
C-35	635.05	12.83	2055.27
C-36	782.66	21.13	1602.61
C-37	679.79	19.18	1799.78
C-38	602.45	21.49	1615.16
C-39	663.09	13.81	1510.43
C-40	645.19	19.01	1558.06

3.3 ENSAYO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UNIONES CLAVADAS

Para obtener las propiedades físicas de la especie maderable Pashaco, se siguió los procedimientos según lo establecido en la norma Técnica Peruana.

3.3.1 Ensayo de Contenido de humedad

3.3.1.1 Obtención de muestras

Terminado los ensayos principales de doble Cizallamiento en uniones clavadas se procedió a realizar los cortes de algunas probetas, se escogió al azar 20 probetas en el siguiente orden:

Se hizo la separación de las 3 piezas de cada probeta, tomando 20 probetas por categoría o tipos de Clavos (**Figura 31**)

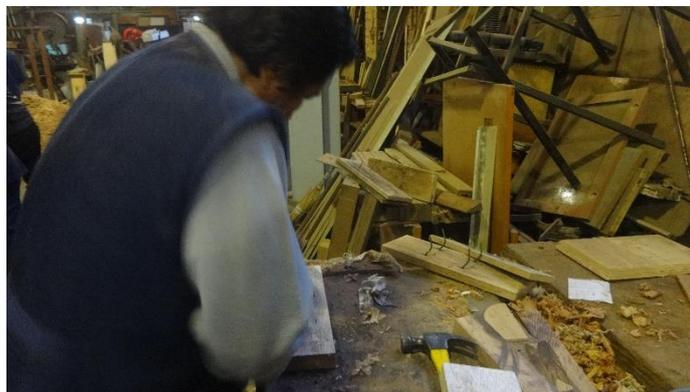


Figura 31: Desarmado de probetas sacando los clavos. .

Se tomó la pieza central de las 20 probetas por cada tipo de unión (2", 2 ½" y 3")

Luego con la sierra circular de mesa se procedió a cortar la parte del centro de la pieza central de la probeta, como se observa en la **Figura 32**.

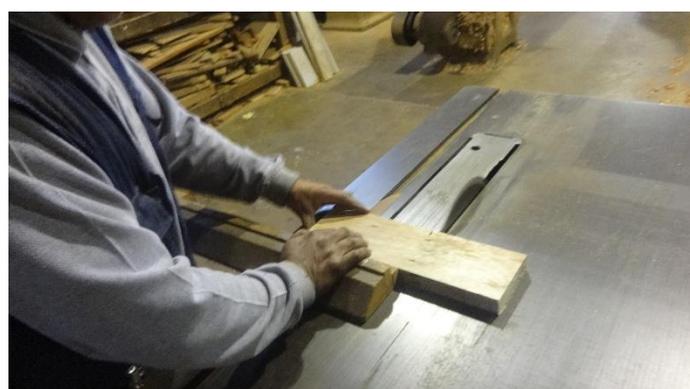


Figura 32: Corte de pieza central para contenido de Humedad.

Finalmente obtenemos las piezas de 3 cm x 3 cm x 10 cm. Las cuales se convierten en nuestras muestras para el contenido de humedad y la densidad básica, descritas en el capítulo 2 (**Figura 33**)



Figura 33: Corte final de las piezas de 3 cm x 3 cm x 10 cm para contenido de humedad

Finalmente, para las muestras de contenido de humedad se Marcan con plumón una codificación de acuerdo a la probeta de la que provienen.

3.3.1.2 Equipos utilizados

Para el ensayo de contenido de humedad se usaron los siguientes equipos de laboratorio el cual se ajusta a las normas recomendadas para el ensayo.

- Horno eléctrico, de temperatura hasta 110 °C. (**Figura 34**)
- Balanza electrónica que mide en gramos y cuya precisión es +/- 0.5 gr. (**Figura 35**)



Figura 34: Horno Eléctrico.



Figura 35: Balanza electrónica, OHAUS de precisión +/- 0.5 g.

3.3.1.3 Procedimiento de ensayo

Una vez realizado los cortes se codifica cada muestra, luego se procedió de acuerdo a lo descrito capítulo 2.4 se llevan al Laboratorio de ensayo de Materiales en la **Figura 36** se puede observar directamente las muestras de maderita



Figura 36: Muestras para medir el contenido de humedad.

Con el objetivo de conseguir los datos necesarios para calcular los contenidos de humedad se desarrolló los siguientes pasos:

- Se coloca sobre la balanza las piezas para obtener el peso en su estado natural o peso húmedo, se observa el peso en la balanza y se registra, ver **Figura 37**.
- Se continúa con el ensayo de densidad básica por el método de volumen sumergido como se podrá apreciar en el capítulo 3.3.2 y se continua con el procedimiento para contenido de humedad.
- Se llevan todas las muestras al horno y se les aplica un calentamiento por 1 día hasta llegar a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, como se puede apreciar en la **Figura 38**.
- Luego se retiran del horno y se dejan enfriar unos minutos para pesar las muestras en la balanza y hacer el registro correspondiente.



Figura 37: Peso húmedo y registro de cada muestra.



Figura 38: Secado de las muestras en el horno a 103 °C.

3.3.1.4 Expresión de resultados

Para obtener el contenido de humedad de cada muestra usamos la expresión:

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

Donde:

CH: Contenido de Humedad (%).

PH: Peso Húmedo (g).

PSH: Peso Seco (g).

A continuación se presenta el registro así como los resultados del contenido de humedad de cada muestra en las siguientes tablas: para muestras provenientes del tipo A en la **Tabla 25**; para muestras provenientes de uniones tipo B en la **Tabla 26** y para muestras provenientes de uniones del tipo C, la **Tabla 27**.

Tabla 25: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo A (Uniones con clavos de 2")
Fuente: Elaborado por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	A-1	31.05	27.30	13.74
2	A-3	37.20	33.00	12.73
3	A-5	37.80	33.50	12.84
4	A-9	35.20	31.20	12.82
5	A-10	35.80	31.80	12.58
6	A-12	34.85	30.90	12.78
7	A-14	29.70	26.40	12.50
8	A-15	31.50	27.10	16.24
9	A-16	30.40	26.70	13.86
10	A-18	31.00	26.80	15.67
11	A-24	32.25	28.50	13.16
12	A-20	30.90	26.90	14.87
13	A-21	31.70	28.10	12.81
14	A-22	30.85	27.10	13.84
15	A-23	30.25	26.70	13.30
16	A-27	34.10	29.40	15.99
17	A-29	34.45	30.20	14.07
18	A-30	33.10	29.20	13.36
19	A-37	33.10	29.30	12.97
20	A-39	32.05	28.60	12.06
Contenido de humedad promedio:				13.61

Tabla 26: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo B (Uniones con clavos de 2 ½")
Fuente: Elaborado por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	B-1	32.55	29.20	11.47
2	B-2	33.55	29.40	14.12
3	B-3	39.40	35.30	11.61
4	B-4	41.60	37.10	12.13
5	B-5	40.60	36.60	10.93
6	B-6	34.25	29.50	16.10
7	B-7	37.70	30.50	23.61
8	B-8	40.30	36.20	11.33
9	B-10	40.65	36.40	11.68
10	B-13	40.20	35.90	11.98
11	B-15	41.75	37.30	11.93
12	B-17	39.80	36.00	10.56
13	B-19	37.05	33.70	9.94
14	B-21	37.65	33.70	11.72
15	B-23	39.15	34.10	14.81
16	B-26	38.75	33.00	17.42
17	B-29	34.80	30.30	14.85
18	B-32	37.85	33.60	12.65
19	B-33	42.50	37.20	14.25
20	B-40	40.20	36.30	10.74
Contenido de humedad promedio:				13.19

Tabla 27: Resultados de laboratorio. Contenido de humedad correspondiente a las probetas tipo C
(Uniones con clavos de 3")

Fuente: Elaborado por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	C-3	37.75	34.10	10.70
2	C-4	38.05	33.60	13.24
3	C-5	37.85	34.40	10.03
4	C-6	37.65	33.80	11.39
5	C-8	37.40	33.70	10.98
6	C-9	33.45	29.40	13.78
7	C-10	37.55	34.00	10.44
8	C-11	38.60	32.80	17.68
9	C-12	38.70	33.80	14.50
10	C-15	38.05	34.50	10.29
11	C-19	39.65	34.40	15.26
12	C-20	38.65	34.00	13.68
13	C-22	38.95	33.90	14.90
14	C-24	37.30	32.40	15.12
15	C-25	42.00	37.80	11.11
16	C-26	39.65	34.50	14.93
17	C-30	42.15	37.50	12.40
18	C-31	44.45	39.60	12.25
19	C-34	43.85	39.40	11.29
20	C-38	32.60	29.40	10.88
Contenido de humedad promedio:				12.74

3.3.2 Ensayo de densidad Básica

3.3.2.1 Obtención de muestras

Las muestras para la densidad Básica que se obtuvieron son los mismos que se utilizaron en el contenido de humedad (**Figura 36**)

3.3.2.2 Equipos utilizados

Para el ensayo de densidad se usaron los siguientes equipos de laboratorio, el cual se ajusta a la norma recomendada para el ensayo.

- Horno eléctrico, de temperatura hasta 110 °C.
- Balanza electrónica que mide en gramos y cuya precisión es +/- 0.5 gr.
- Probeta graduada marca Giardino de 500 ml. cuya precisión es 5ml. Figura de abajo. (**Figura 39**)
- Sujetador mecánico con bloque magnético marca INZISE (**Figura 25**)
- Alambre delgado.



Figura 39: Balanza, Probeta, sujetador mecánico y alambre.

3.3.2.3 Procedimiento de ensayo

Se procedió de acuerdo a lo descrito capítulo anterior donde para obtener la densidad básica se usaron las muestras de dimensiones de 3 cm x 3 cm x 10 cm usando el método de volumen sumergido, a continuación, se detalla los procedimientos.

- Se saturaron las muestras en agua destilada por 24 horas ver **Figura 40**
- Se coloca la probeta graduada encima de la balanza, taramos la balanza dejando el peso de la probeta como si fuera cero, luego se procede a vertir el agua destilada dentro de la probeta hasta un peso de 300g, ver **Figura 41**
- Se colocó las muestras dentro de la probeta con agua destilada, así también se ingresó la aguja para mantener toda la muestra inmersa en el agua (**Figura 42**) y cuando estuvo estable se registró el volumen total o peso total del agua y la muestra sumergida, y por diferencia se obtiene el volumen de la probeta que se encuentra dentro del agua usando el método más preciso recomendado por la norma peruana denominado método indirecto de medición por inmersión de agua sumergido.
- Las probetas se llevaron al horno aplicándose un crecimiento gradual de la temperatura hasta llegar a los $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, al día siguiente después de 24 horas se retiró las muestras del horno. Finalmente se pesó cada una de las muestras y se registró sus valores correspondientes.



Figura 40: Muestras Inmersas en agua destilada.



Figura 41: Peso del agua destilada en probeta graduada.



Figura 42: Peso de cada muestra más el agua.

3.3.2.4 Expresión de resultados

Se presenta a continuación las tablas con el registro de datos y los resultados de las densidades de las muestras, cada tabla que se presenta es por tipo de unión para clavos (2", 2½" y 3"): para las probetas del tipo A en la **Tabla 28**; para probetas tipo B, en la **Tabla 29** y para probetas tipo C, en la **Tabla 30**.

Las densidades se calcularon con la expresión:

$$DB = \frac{PSH}{VV}$$

Donde:

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

VV: Es volumen en estado saturado o Volumen verde. (*cm*³)

Tabla 28: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo A
(Uniones con clavos de 2")

Fuente: Elaborado por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL AGUA + PROBETA (g)	PESO DEL VOLUMEN DESPLAZADO g= ml.	VOLUMEN (cm3)	PESO SECO (g)	DENSIDAD (g/cm3)
1	A-1	300	374.8	74.8	74.8	27.3	0.365
2	A-3	300	374.5	74.5	74.5	33	0.443
3	A-5	300	374.5	74.5	74.5	33.5	0.450
4	A-9	300	373.8	73.8	73.8	31.2	0.423
5	A-10	300	374.6	74.6	74.6	31.8	0.426
6	A-12	300	373.7	73.7	73.7	30.9	0.419
7	A-13	300	375.5	75.5	75.5	26.4	0.350
8	A-15	300	374.3	74.3	74.3	27.1	0.365
9	A-16	300	374	74.0	74.0	26.7	0.361
10	A-18	300	374.9	74.9	74.9	26.8	0.358
11	A-24	300	374.5	74.5	74.5	28.5	0.383
12	A-20	300	373.8	73.8	73.8	26.9	0.364
13	A-21	300	375.7	75.7	75.7	28.1	0.371
14	A-22	300	373.5	73.5	73.5	27.1	0.369
15	A-23	300	375.3	75.3	75.3	26.7	0.355
16	A-27	300	374.7	74.7	74.7	29.4	0.394
17	A-29	300	376.8	76.8	76.8	30.2	0.393
18	A-30	300	374.8	74.8	74.8	29.2	0.390
19	A-37	300	374.7	74.7	74.7	29.3	0.392
20	A-39	300	374.9	74.9	74.9	28.6	0.382
Densidad básica promedio:							0.388

Tabla 29: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo B (Uniones con clavos de 2 ½")

Fuente: Elaborado por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL AGUA + PROBETA (g)	PESO DEL VOLUMEN DESPLAZADO g= ml.	VOLUMEN (cm3)	PESO SECO (g)	DENSIDAD (g/cm3)
1	B-1	300	391.1	91.1	91.1	29.2	0.321
2	B-2	300	395	95	95	29.4	0.309
3	B-3	300	393.5	93.5	93.5	35.3	0.378
4	B-4	300	394.2	94.2	94.2	37.1	0.394
5	B-5	300	396.5	96.5	96.5	36.6	0.379
6	B-6	300	394.2	94.2	94.2	29.5	0.313
7	B-7	300	392.2	92.2	92.2	30.5	0.331
8	B-8	300	394.4	94.4	94.4	36.2	0.383
9	B-10	300	394.5	94.5	94.5	36.4	0.385
10	B-13	300	395.3	95.3	95.3	35.9	0.377
11	B-15	300	393	93	93	37.3	0.401
12	B-17	300	395.4	95.4	95.4	36	0.377
13	B-19	300	395.6	95.6	95.6	33.7	0.353
14	B-21	300	396.4	96.4	96.4	33.7	0.350
15	B-23	300	395.4	95.4	95.4	34.1	0.357
16	B-26	300	395.5	95.5	95.5	33	0.346
17	B-29	300	395.8	95.8	95.8	30.3	0.316
18	B-32	300	397	97	97	33.6	0.346
19	B-33	300	393.3	93.3	93.3	37.2	0.399
20	B-40	300	392.7	92.7	92.7	36.3	0.392
Densidad básica promedio:							0.360

Tabla 30: Resultados de laboratorio. Densidad básica correspondiente a las probetas tipo C (Uniones con clavos de 3")

Fuente: Elaborad por el autor

NÚMERO DE PRUEBA	CÓDIGO DE MUESTRA	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL AGUA + PROBETA (g)	PESO DEL VOLUMEN DESPLAZADO g= ml.	VOLUMEN (cm3)	PESO SECO (g)	DENSIDAD (g/cm3)
1	C-3	300	394.7	94.7	94.7	34.1	0.360
2	C-4	300	394.9	94.9	94.9	33.6	0.354
3	C-5	300	394.2	94.2	94.2	34.4	0.365
4	C-6	300	392.2	92.2	92.2	33.8	0.367
5	C-8	300	394.9	94.9	94.9	33.7	0.355
6	C-9	300	393.5	93.5	93.5	29.4	0.314
7	C-10	300	393.4	93.4	93.4	34	0.364
8	C-11	300	396.1	96.1	96.1	32.8	0.341
9	C-12	300	393.2	93.2	93.2	33.8	0.363
10	C-15	300	396.3	96.3	96.3	34.5	0.358
11	C-19	300	393.9	93.9	93.9	34.4	0.366
12	C-20	300	393.6	93.6	93.6	34	0.363
13	C-22	300	394.6	94.6	94.6	33.9	0.358
14	C-24	300	390.7	90.7	90.7	32.4	0.357
15	C-25	300	394.4	94.4	94.4	37.8	0.400
16	C-26	300	395	95	95	34.5	0.363
17	C-30	300	395.5	95.5	95.5	37.5	0.393
18	C-31	300	392.8	92.8	92.8	39.6	0.427
19	C-34	300	393	93	93	39.4	0.424
20	C-38	300	395.2	95.2	95.2	29.4	0.309
Densidad básica promedio:							0.365

3.4 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

Los ensayos complementarios que se realizarán a continuación son los siguientes:

3.4.1 Ensayo de tracción del clavo

Muestras de Ensayo:

El ensayo de tracción del clavo se realizó a los 3 clavos por tipo de longitud total del clavo, se ensayaron: 3 clavos de 2", 3 clavos 2 ½" y 3 clavos de 3", estos ensayos se llevaron a cabo en LABICER al cual se encargó ensayar el total de los 9 clavos mencionados.

Equipos de ensayo:

Los ensayos de tracción del clavo se llevaron a cabo en el LABICER "Laboratorio N°12 de la Universidad Nacional de Ingeniería" donde para el ensayo se empleó una máquina especializada en tracción, ver **Figura 43**.



Figura 43: Máquina de tracción universal. ZWICK ROELL Z010

Procedimiento y resultados:

Los resultados de laboratorio de ensayo de resistencia a la tracción para clavos de 2", 2 ½" y 3" proporcionados por LABICER y presentados en la **Tabla 4** conforme a los anexos F, H e I, son procesados para obtener el valor característico de la carga máxima de cada tipo de clavo, las fuerzas de tracción se muestran en la **Tabla 31**.

Tabla 31: Cargas de Tracción del clavo proporcionados por LABICER
Fuente: Elaborado por el autor

PRUEBA	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)	FUERZA DE TRACCIÓN (kg)
1	479	774	875
2	481	792	916
3	476	732	924

De las gráficas proporcionados por LABICER también se obtiene la carga de fluencia de 350 kg, 500 kg y 680 kg para calvos de 2", 2 ½" y 3" respectivamente, luego los llevamos a kilogramos y los dividimos entre el área de sección de cada clavo para finalmente obtener los esfuerzos de fluencia de: 573 MPa ,546 MPa y 595 MPa, ver **Tabla 32**.

Tabla 32: Valores del esfuerzo de fluencia de los clavos
Fuente: Elaborado por el autor

CLAVOS DE:	2"	2 1/2"	3"
CARGA DE FLUENCIA (kg)	350	500	680
CARGA DE FLUENCIA (N)	3434	4905	6671
DIAMETRO DEL CLAVO (mm)	2.76	3.38	3.78
ÁREA DE SECCIÓN (mm ²)	6.00	8.99	11.22
FLUENCIA DEL CLAVO (MPa)	573	546	595

3.4.2 Ensayo aplastamiento de la madera debido al clavo**Muestras de Ensayo:**

Los espesores de las probetas del ensayo de aplastamiento se desarrollaron según la Norma UNE EN 383, donde nos indica que en todos los casos debe cumplirse con el rango $1,5 \leq t / d \leq 4$ establecido por la norma UNE EN 383, donde **t** es el espesor de la pieza de madera y **d** el diámetro del clavo, los valores de los espesores de las piezas de madera serán 10 mm, 13 mm y 15 mm para los clavos de 2", 2 ½" y 3" respectivamente, quienes cumplen con el rango de valores mencionados, ver **Figura 44**.



Figura 44: Probetas para ensayo de aplastamiento de distintos espesores: 10mm, 13mm y 15mm

Equipos de ensayo:

Los ensayos al aplastamiento de la madera se llevaron a cabo en el LEM-UNI “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 con capacidad para 100 ton, ver **Figura 45**. La aplicación de la carga se efectuó adaptando instrumentos mecánicos diseñados para efectuar los ensayos adecuadamente.



Figura 45: Máquina universal, marca Zwick Roell del LEM-UNI con 100 ton. de capacidad.

Procedimiento y resultados:

Por el ensayo de aplastamiento adaptamos el ensayo donde la aplicación de la carga de manera inversa, pero tuvo el mismo efecto del aplastamiento de la madera, en este caso se consiguió que una barra metálica transmita la carga a la madera, mientras los clavos se encuentran apoyados sobre dos barras con aberturas cilíndricas que permiten un apoyo fijo y de ajuste de los clavos. Por el principio físico de acción y reacción aplicando la carga sobre la madera, la reacción de la parte inferior de la carga hizo que sea el clavo quien aplaste a la madera.

Se ensayó las 4 probetas por tipo de clavo (2", 2 ½" y 3") haciendo un total de 12 probetas, a continuación se muestra en la **Figura 46** el ensayo de aplastamiento de la madera.

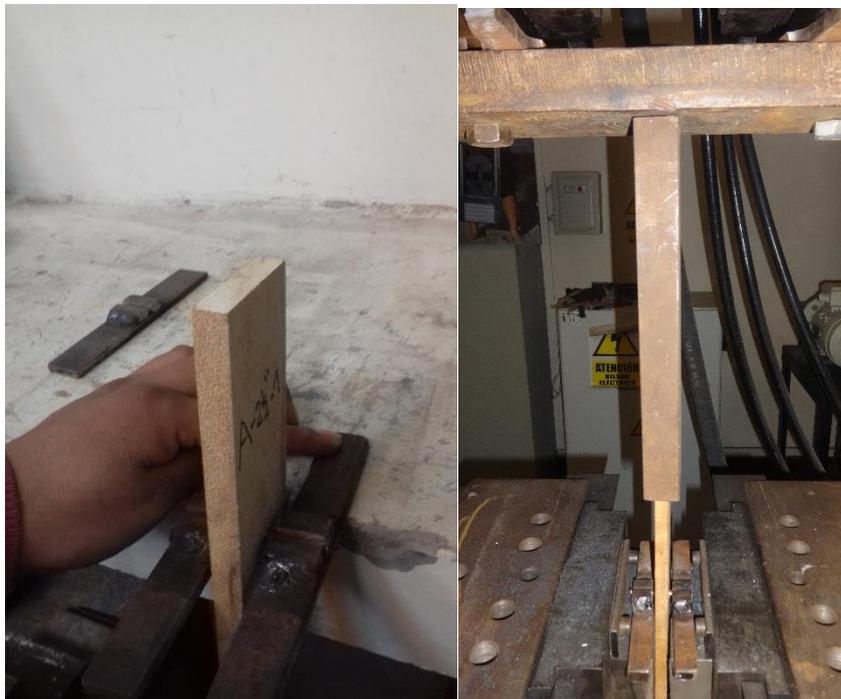


Figura 46: Ensayo de aplastamiento de la madera debido al clavo.

Se registró el valor de la máxima carga o la correspondiente al deslizamiento límite de 5 mm.

Del registro de datos del laboratorio se obtuvieron las fuerzas máximas que se aprecian en la siguiente tabla:

.

Tabla 33: Resultados de laboratorio. Cargas máximas de aplastamiento de la madera a causa de los clavos de (2", 2 1/2" y 3")

Fuente: Elaborado por el autor

PRUEBA	FUEZA MÁXIMA (N)		
	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
1	679.71	1064.28	1354.39
2	587.78	897.14	1230.56
3	667.18	992.29	1175.58
4	603.05	1272.34	1314.70

3.4.3 Ensayo de extracción del clavo

Muestras de Ensayo:

Para el ensayo de extracción del clavo se siguieron las recomendaciones geométricas según la Norma ASTM 1761 mencionada en la parte teórica, a continuación, en la **Figura 47** se muestra la fabricación de las probetas para la extracción del clavo para los 3 tipos: 4 probetas con clavos de 2", 4 probetas con clavo de 2 1/2" y 4 probetas con clavos de 3"



Figura 47: Elaboración de probetas para ensayo de extracción de clavos.

La extracción de clavos fue realizada perpendicularmente a las caras radial y tangencial a las fibras, la extracción en la cara longitudinal a las fibras no es de interés porque no influyen en nuestras comparaciones para propósitos de analizar las uniones clavadas.

Equipos de ensayo:

El ensayo de extracción de clavos se realizó en la Máquina Universal marca Zwick Roell de 100 Ton de capacidad del LEM – UNI, ver **Figura 45**.

Procedimiento y resultados:

En este ensayo se adaptó una especie de placas envolventes de acero que cubren parcialmente a la probeta así como se vio en el esquema que se mostró en la **Figura 9**, a continuación se muestra las probetas y el ensayo de extracción del clavo en la **Figura 48**.



Figura 48: Probetas y ensayo de extracción del clavo de 3"

Se decidió analizar la extracción de clavos en la cara radial y tangencial de la probeta, como son 4 clavos por probeta y son 4 probetas por cada tipo de clavo, hacen un total de 16 clavos sometidos a extracción directa. En la **Figura 49** se observa ensayos concluidos y algunas probetas de 2" y 2 ½"



Figura 49: Probetas de extracción ensayadas para clavos de 2" y 2 ½"

Los resultados del ensayo de extracción del clavo se registraron en laboratorio y se presentan en la **Tabla 34**.

Tabla 34: Resultados de Laboratorio. Cargas máximas de extracción registrada para probetas con clavos de (2", 2 ½" y 3")

Fuente: Elaborado por el autor

PRUEBA	FUEZA MÁXIMA DE EXTRACCIÓN (kg)		
	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
1	41.19	67.97	81.90
2	35.79	59.05	74.01
3	42.44	70.03	64.77
4	16.06	26.50	73.33
5	39.84	65.73	54.85
6	38.87	64.13	55.17
7	24.67	40.70	50.45
8	38.38	63.32	60.11
9	30.86	50.92	49.74
10	18.98	31.31	51.30
11	26.02	42.93	48.40
12	28.19	46.52	52.42
13	43.38	71.58	72.92
14	36.87	60.84	73.37
15	33.37	55.06	60.93
16	33.75	55.69	83.55

4 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 CÁLCULO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE UNIONES CLAVADAS

Con el objetivo de conseguir la resistencia a doble cizallamiento por clavo a continuación se presenta los cálculos estadísticos realizados a los 3 grupos de uniones clavadas.

4.1.1 Análisis estadístico de uniones clavadas

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

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

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

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

Donde:

\bar{y} : Valor medio a nivel de logaritmo.

s_y : Desviación típica a nivel de logaritmo.

$\ln m_i$: 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.

m_k : Valor característico. (Percentil del 5%)

m_{prom} : Valor promedio de las muestras.

4.1.1.1 Uniones clavadas de 2" de longitud de clavo

Con las expresiones de cálculo estadístico usando el método de distribución log normal, se aplicó su procedimiento a todos los datos presentados en la **Tabla 22**, que corresponde a las cagas registradas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas de las probetas tipo A ensayadas en laboratorio, a continuación se presenta los resultados en la **Tabla 35**.

Tabla 35: Calculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 2" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.

Fuente: Elaborada por el autor

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA
\bar{y}	5.97	6.87
S_y	0.43	0.11
$K_s (n)$	1.83	1.83
m_k	178.16	779.98
m_{Prom}	393.43	962.38

4.1.1.2 Uniones clavadas de 2 1/2" de longitud de clavo

Del mismo modo Con las expresiones de cálculo estadístico usando el método de distribución log normal se aplicó su procedimiento a todos los datos presentados en la **Tabla 23**, que corresponde a las cagas registradas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas de las probetas tipo B ensayadas en laboratorio, la **Tabla 36** nos muestra los resultados.

Tabla 36: Calculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 2 1/2" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.

Fuente: Elaborada por el autor

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA
\bar{y}	6.25	7.23
S_y	0.30	0.07
$K_s (n)$	1.83	1.83
m_k	302.40	1219.15
m_{Prom}	519.63	1387.13

4.1.1.3 Uniones clavadas de 3" de longitud de clavo

Casi también, con las expresiones de cálculo estadístico usando el método de distribución log normal se aplicó su procedimiento a todos los datos presentados en la **Tabla 24** que corresponde a las cagas registradas para 0.38 mm de deformación y las cargas últimas de las probetas tipo C ensayadas en laboratorio, a continuación se presenta los resultados en la **Tabla 37**.

Tabla 37: Cálculo estadístico con distribución log-normal para Uniones con clavos de 3" para cargas de 0.38 mm de deformación y cargas últimas.

Fuente: Elaborada por el autor

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA
\bar{y}	6.44	7.50
S_y	0.22	0.12
$K_s (n)$	1.83	1.83
m_k	419.71	1455.31
m_{Prom}	625.78	1814.28

A continuación se muestra en un cuadro resumen de los valores promedios y valores característicos de las cargas a 0.38 mm de deformación y cargas últimas de los 3 tipos de Uniones Clavadas ver **Tabla 38**.

4.1.2 Resistencia a doble cizallamiento en uniones con clavos de 2", 2 1/2" y 3"

En la siguiente tabla se unen los resultados de los 3 tipos de uniones clavadas.

Tabla 38: Consolidado de las cargas promedio y los valores característicos para cargas a una deformación igual a 0.38mm y cargas últimas (4 clavos).

Fuente: Elaborada por el autor

CARGAS EN LA UNIÓN POR TIPO DE CLAVO :	L=2"		L=2 1/2"		L=3"	
	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA
CARACTERÍSTICO (kg)	178.16	779.98	302.40	1219.15	419.71	1455.31
PROMEDIO (kg)	393.43	962.38	519.63	1387.13	625.78	1814.28
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg)	137.98	104.16	132.79	94.25	122.44	205.45

Después de los ensayos de laboratorio las probetas ensayadas se llevaron a carpintería para cortar las probetas de tal manera que pueda notarse la deformación del clavo, luego de verificar se pudo notar que analizando solo a nivel de la madera, esta sufrió aplastamiento debido a la acción del clavo, razón por la cual usamos el factor de servicio y el factor de Duración de carga que nos indica la JUNAC (Ref. 6, Cap 7-Pág 9) para efectos de aplastamiento. Por lo cual dividimos a todos las cargas entre ambos factores: (F.S. = 1.6) y (F.D.C.=1.25), luego del análisis estadístico obtenemos los siguientes valores factorados en la

Tabla 39

Tabla 39: Resistencias a doble cizallamiento factorados según el tipo de falla en la madera (Acción en 4 clavos)

Fuente: Elaborada por el autor

CARGAS POR TIPO DE UNIÓN CLAVADA CON CLAVOS DE :	L=2"		L=2 1/2"		L=3"	
	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA	CARGA (0.38 mm)	CARGA ÚLTIMA
CARACTERÍSTICO (kg)	89.08	389.99	151.20	609.57	209.85	727.66
PROMEDIO (kg)	196.72	481.19	259.81	693.57	312.89	907.14
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg)	68.99	52.08	66.40	47.13	61.22	102.72

Considerando cargas que tienen una deformación de 0.38 mm

Para el cálculo de cargas admisibles para una deformación de 0.38 mm, se toma los valores Promedios de resistencia calculados en la **tabla 39** las cuales son 196.72. kg, 259.81 kg y 312.89 kg para uniones con clavos de 2" , 2½" y 3" respectivamente, como cada unión cuenta con 4 clavos estas se dividen entre 4, obteniendo los resultados de resistencia a doble de las uniones para un clavo y se muestra a continuación en la **Tabla 40**.

Tabla 40: Valores admisibles de resistencia a doble cizallamiento por un clavo en uniones clavadas para una deformación de 0.38mm, para los 3 tipos de Uniones.

Fuente: Elaborada por el autor

UNION CLAVADA DE:	Densidad 388 kg/m ³ L=2"	Densidad 360 kg/m ³ L=2 1/2"	Densidad 365 kg/m ³ L=3"
CARGA ADMISIBLE DE DOBLE CIZALLAMIENTO PARA 0.38 mm. DE DEFORMACIÓN (kg)	49.18	64.95	78.22

Considerando cargas Últimas:

Para el cálculo de carga admisibles en condición Última se toma los valores característicos de resistencia calculados en la **tabla 39** las cuales son 390.00 kg, 609.57 kg y 727.66 kg para uniones con clavos de 2" , 2½" y 3" respectivamente, como cada unión cuenta con 4 clavos, estas se dividen entre 4, obteniendo los resultados de la **Tabla 41**.

Tabla 41: Valores admisibles de resistencia por clavo a doble cizallamiento en uniones clavadas aplicadas a cargas últimas para los 3 tipos de Uniones.

Fuente: Elaborada por el autor

UNION CLAVADA DE:	Densidad 388 kg/m ³ L=2"	Densidad 360 kg/m ³ L=2 1/2"	Densidad 365 kg/m ³ L=3"
CARGA ADMISIBLE DE DOBLE CIZALLAMIENTO PARA LA CARGA ÚLTIMA (kg)	97.50	152.39	181.91

4.1.3 Resistencia a simple cizallamiento en uniones con clavos de 2", 2 1/2" y 3"

A continuación, se determina la resistencia a simple cizallamiento para lo cual a partir de los valores de doble cizallamiento cuyas uniones tienen 2 planos de corte, se divide entre 2 para finalmente obtener la resistencia a simple cizallamiento de las uniones que son valores admisibles de diseño por clavo y por plano de corte.

Considerando cargas que tienen una deformación de 0.38 mm

Dividimos los valores de la **Tabla 40** entre dos, para obtener la resistencia a simple Cizallamiento de las uniones clavadas para los tres tipos de Unión.

Tabla 42: Valores admisibles de resistencia por clavo a simple cizallamiento en uniones clavadas para una deformación de 0.38mm en las 3 Uniones clavadas.

Fuente: Elaborada por el autor

UNION CLAVADA DE:	Densidad 388 kg/m ³ L=2"	Densidad 360 kg/m ³ L=2 1/2"	Densidad 365 kg/m ³ L=3"
CARGA ADMISIBLE DE SIMPLE CIZALLAMIENTO PARA 0.38 mm. DE DEFORMACIÓN (kg)	24.59	32.48	39.12

Para Cargas Últimas

Dividimos los valores de la **Tabla 41** entre dos para obtener la resistencia a simple Cizallamiento de las uniones clavadas para los tres tipos de Unión

Tabla 43: Valores admisibles de resistencia por clavo a simple cizallamiento en uniones clavadas para cargas últimas para los 3 tipos de Uniones.

Fuente: Elaborada por el autor

UNION CLAVADA DE:	Densidad 388 kg/m ³ L=2"	Densidad 360 kg/m ³ L=2 1/2"	Densidad 365 kg/m ³ L=3"
CARGA ADMISIBLE DE SIMPLE CIZALLAMIENTO PARA LA CARGA ÚLTIMA (kg)	48.75	76.20	90.96

Finalmente, por criterios de diseño seleccionamos el menor de los resultados entre: cargas para 0.38 mm de deformación y cargas Últimas. Por lo tanto experimentalmente "la resistencia a simple cizallamiento en uniones clavadas de la especie forestal Pashaco" para los 3 tipos de uniones son:

Uniones con clavos de 2" de longitud y densidad de la madera de 388 kg/m³ tiene una carga de diseño de 24.59 kg.

Uniones con clavos de 2 1/2" de longitud y densidad de la madera de 360 kg/m³ tiene una carga de diseño de 32.48 kg.

Uniones con clavos de 3" de longitud y densidad de la madera de 365 kg/m³ tiene una carga de diseño de 39.12 kg.

4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

Del mismo modo que el tratamiento estadístico realizado a las uniones clavadas se hace a los ensayos complementarios realizados en laboratorio. A continuación, se presenta directamente los resultados de los valores característicos y valores promedios de las cargas registradas en cada ensayo. Y se usara el valor característico como valor representativo para los cálculos finales, esto debido a que se trata de cargas últimas las que se analizan en los 3 ensayos que se desarrollan.

4.2.1 Tracción del clavo

De los resultados de las cargas de Tracción del clavo Proporcionados por LABICER vistos en la **Tabla 31** se obtiene los valores característicos, los valores promedio y la desviación estándar que son resultado el tratamiento estadístico. Ver **Tabla 44**.

Tabla 44: Valores promedios y característicos de la Tracción del clavo
Fuente: Elaborada por el autor

FUERZA DE TRACCION DE :	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
CARACTERÍSTICO (kg)	470.80	673.91	796.41
PROMEDIO (kg)	478.66	765.58	904.74
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg)	2.51	30.40	35.92

Por tratarse de cargas máximas tomamos el valor característico de las fuerzas de tracción por cada tipo de clavo: 470.8 kg, 673.91 kg y 796.41 kg; luego lo cambiamos a unidades de fuerza obteniendo las cargas de: 4618.56 N, 6611.07 N y 7812.763 N por los clavos de 2", 2 1/2" y 3" respectivamente. Con el área de la sección circular del clavo se puede determinar la resistencia a la tracción del clavo para cada uno de los clavos en mención, los resultados de dividir la Fuerza de tracción entre el área de sección del clavo se muestran en la **Tabla 45**

Tabla 45: Resultados de cálculo de la resistencia a la tracción de los 3 tipos de clavos
Fuente: Elaborada por el autor

CLAVOS DE:	2"	2 1/2"	3"
FUERZA DE TRACCIÓN (N)	4618.56	6611.07	7812.76
DIAMETRO DEL CLAVO (mm)	2.76	3.38	3.78
ÁREA DE SECCIÓN (mm ²)	6.00	8.99	11.22
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	771	736	697

Finalmente, con los valores de resistencia a la tracción en MPa se podrá usar en los procedimientos de cálculo teóricos de la norma Argentina.

4.2.2 Aplastamiento de la madera debido al clavo

Del tratamiento estadístico que se hizo a los valores de las cargas máximas de aplastamiento mostrados en la **Tabla 33** se obtiene los valores promedio, el valor característico y la desviación estándar, ver la **Tabla 46**.

Tabla 46: Valores promedios y característicos del aplastamiento de la madera.
Fuente: Elaborada por el autor

CARGA DE APLASTAMIENTO EN MADERA DEBIDO A :	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
CARACTERÍSTICO (N)	540.20	812.09	1066.30
PROMEDIO (N)	643.57	982.17	1251.31
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N)	40.24	66.51	71.69

Como resultado del análisis estadístico se obtiene los valores característicos de la fuerza máxima de aplastamiento de la madera Pashaco para cada uno de los clavos (2", 2 1/2" y 3") resultando 540.2 N, 812.1 N y 1066.3 N respectivamente.

Para el cálculo de la resistencia al aplastamiento de la madera consideramos la fuerza máxima de aplastamiento F_{max} , los valores del diametro (d) y el espesor de la madera (t) que se encuentran en la **Tabla 47** aplicamos la siguiente expresion:

$$f_h = \frac{F_{m\acute{a}x}}{d \cdot t}$$

Tabla 47: Resultados de cálculo de la resistencia al aplastamiento de los 3 tipos de clavos (2", 2 1/2" y 3")
Fuente: Elaborada por el autor

APLASTAMIENTO DE LA MADERA DEBIDO A CLAVOS DE:	2"	2 1/2"	3"
FUERZA CARACTERÍSTICA APLASTAMIENTO (N)	540.20	812.09	1066.30
ESPESOR DE LA MADERA (mm)	10	13	15
DIAMETRO DEL CLAVO (mm)	2.76	3.38	3.78
ÁREA DE APLASTAMIENTO (mm ²)	27.6	43.94	56.7
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DE LA MADERA (N/mm ²)	19.57	18.48	18.81

Finalmente se tienen los valores característicos de la resistencia al aplastamiento de la madera que son 19.57 N/mm², 18.48 N/mm², y 18.81 N/mm² para los 3 tipos de clavos respectivamente.

4.2.3 Extracción del clavo

Del tratamiento estadístico que se hizo a los valores de las cargas máximas de la carga de extracción del clavo mostrados en la **Tabla 34** se obtiene los valores promedio, el valor característico y desviación estándar que se muestran a continuación en la **Tabla 48**.

Tabla 48: Valores promedios y característicos de la extracción del clavo.
Fuente: Elaborada por el autor

CARGA DE EXTRACCIÓN DE :	CLAVOS DE 2"	CLAVOS DE 2 1/2"	CLAVOS DE 3"
CARACTERÍSTICO (kg)	18.05	29.78	42.87
PROMEDIO (kg)	31.88	52.61	61.91
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg)	8.04	13.27	10.60

Por tratarse de cargas máximas se toma el valor característico de las cargas de extracción del clavo para determinar el esfuerzo de resistencia a la extracción del clavo.

Convertimos las unidades de los valores característicos de la carga de extracción multiplicando los valores: 18.05 kg, 29.78 kg y 42.87 kg. por la acción de la aceleración de la gravedad resultando: 177.04 N, 292.11 N y 420.55 N, para los clavos de 2", 2 1/2" y 3" respectivamente, luego estos valores característicos en Newtons lo dividimos entre la longitud penetrada de la punta y el diámetro del clavo. Se puede ver los valores de los parámetros mencionados y el resultado de la resistencia a la extracción del clavo en la **Tabla 49**.

Es importante mencionar que la resistencia a la extracción del clavo (f_a) en la norma europea se conoce como resistencia al arrancamiento del elemento de fijación, determinado este esfuerzo será de ayuda para calcular cualquier otro valor de fuerza o carga de extracción.

Tabla 49: Resultados de cálculo de la resistencia a la extracción de los clavos (2", 2 1/2" y 3") de los ensayos de laboratorio

Fuente: Elaborado por el autor

CLAVOS DE:		2"	2 1/2"	3"
FUERZA CARACTÉRÍSTICA EXTRACCIÓN DEL CLAVO	F (N)	177.04	292.11	420.55
DIAMETRO DEL CLAVO	d (mm)	2.76	3.38	3.78
PENETRACIÓN EN LA MADERA	lp (mm)	32	32	32
RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DEL CLAVO	f_a (N/mm ²)	2.00	2.70	3.48

Con el objetivo de saber cómo están los resultados de la extracción de clavos teóricos hallados con la norma Europea, a continuación en la la punta del clavo en la madera.

Tabla 50 se muestra que el resultado experimental del esfuerzo de resistencia a la extracción del clavo (f_a) se convierte a la Fuerza de extracción ($F_{ax,Rk}$) aplicado a las probetas de uniones clavadas que afectan en la incrustación de la punta del clavo en la madera.

Tabla 50: Resultados de cálculo de la fuerza de extracción del clavo aplicado a nuestras probetas de uniones clavadas.

Fuente: Elaborado por el autor

CLAVOS DE:		2"	2 1/2"	3"
RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DEL CLAVO	f_a (N/mm ²)	2.00	2.70	3.48
INCRUSTACIÓN DE LA PUNTA	lp (mm)	13.5	16	19
DIAMETRO DEL CLAVO	d (mm)	2.76	3.38	3.78
FUERZA DE EXTRACCIÓN DEL CLAVO	$F_{ax,Rk}$ (N)	74.69	146.06	249.70

4.3 CALCULOS TEÓRICOS DE UNIONES CLAVADAS

Esta parte presenta el desarrollo de cálculo teórico para diseño de Uniones clavadas que usan diversos códigos de diseño vigentes: la norma de nuestro País tiene como base de cálculo las recomendaciones de diseños hecho por la JUNAC, así también países de Europa usan el Eurocódigo 5, además algunos países vecinos como Argentina y Brasil, usan sus reglamentos CIRSOC 601 y NBR 7190 respectivamente, también se muestra un procedimiento tradicional que presenta la USDA de los Estados Unidos.

El cálculo de diseño de uniones clavadas ya fue presentada a detalle en la parte teórica aquí solo se presenta los resultados y se especifica el procedimiento de cálculo según secuencia para lograr el objetivo de obtener los valores de diseño deseados.

Es necesario mencionar que cada uno de los procedimientos de cálculo por cada normativa se muestra a través de algunas expresiones, cuyos parámetros están mencionados en sus respectivas tablas de resultado, además los símbolos y las unidades en la que fueron calculados también se presentan en el interior de dichas tablas, y no será necesario volver a mencionarlo porque ya se vio en la parte teórica.

Con el objeto de no redundar información presentada en el capítulo 2, en los procesos de cálculo, se menciona ciertos valores como los factores de reducción que fueron obtenidos de las tablas presentadas en la teoría de cada una de las normas correspondientes; también es necesario mencionar que el procedimiento descrito a continuación para cada reglamento se efectuó en los 3 tipos de Uniones Clavadas similares a las que se ensayó experimentalmente, con la diferencia que en este caso se calcula la resistencia directamente para un clavo, siendo los 3 tipos de uniones: uniones con clavos de 2" de longitud y densidad de la madera de 388 kg/m³, Uniones con clavos de 2 ½ " de longitud y densidad de la madera de 360 kg/m³ y uniones con clavos de 3" de longitud y densidad de la madera de 366 kg/m³.

4.3.1 Resistencia a doble cizallamiento según JUNAC

Los valores de esfuerzos admisibles presentados por la Norma Peruana E.010 provienen del cálculo propuesto por la JUNAC en el Manual de diseño para maderas del grupo andino, aquí se presenta detalles de su interpretación para el cálculo de dichos valores.

El procedimiento de cálculo para obtener la carga de diseño admisible según lo propuesto JUNAC es la siguiente:

Resistencia a doble y simple cizallamiento para deformaciones de 0.38mm

El cálculo que se presenta a continuación se aplica para los 3 tipos de uniones clavadas para.

Para obtener la carga promedio correspondiente a una remplazamos el diámetro del clavo y la densidad básica en la siguiente expresión:

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

Luego dividimos este valor promedio entre la multiplicación de algunos factores de reducción para cargas a 0.38mm de deformación que se encuentran en la **Tabla 6**. El detalle se comento en el ítem 2.8 de la parte teórica.

$$\frac{P_{0.38 \text{ prom}}}{\text{Producto de Factores}}$$

Finalmente para obtener los resultados de la resistencia a simple cizallamiento dividimos los valores entre 1.8 un valor proporcionado por la JUNAC

$$\frac{P_{0.38 \text{ prom}}}{\text{Producto de Factores} \times 1.8}$$

Para la carga última se obtiene una expresión similar:

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

Para esta última expresión el subíndice mín. indica que se trata de un valor correspondiente al 5° rango o aproximadamente al 5° percentil.

Estos valores se dividen entre alguno de los factores de reducción correspondientes a cargas últimas indicados en la **Tabla 6**, según se indico en el ítem 2.8.

$P_{U,min}$
Producto de Factores

Adicionalmente se divide estos valores entre 1.8 para obtener las cargas admisibles de clavos a simple cizallamiento.

$P_{U,min}$
Producto de Factores x 1.8

Finalmente para obtener el valor admisible se selecciona el menor de los dos resultados, el cual será la resistencia Simple cizallamiento de uniones clavadas.

EL cálculo de los esfuerzos admisibles se aplica a los 3 tipos de probetas con sus respectivos diámetros y respectivas densidades, en la **Tabla 51** se muestra tanto los datos básicos, así como los procesos intermedios de cálculo para obtener la carga admisible de diseño.

Tabla 51: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la JUNAC
Fuente: Elaborada por el autor

NOMBRES		SIMBOLO Y UNIDAD	DENSIDAD 388 (kg/m3) L=2"	DENSIDAD 360 (kg/m3) L=2 1/2"	DENSIDAD 366 (kg/m3) L=3"
DENSIDAD BÁSICA		ρ_k (g/cm ³)	0.388	0.360	0.365
DIÁMETRO DE CLAVO		d (mm.)	2.76	3.38	3.78
CÁLCULOS DE LA CARGA A 0.38 mm DE DEFORMACIÓN	CARGA PROMEDIO EN (0.38mm)	$P_{0.38, prom}$ (kg)	87.61	104.26	121.29
	PRODUCTO DE FACTORES DE REDUCCIÓN	$1.33 \times 1.00 \times 1.25$	1.67	1.67	1.67
	RESISTENCIA DE DOBLE CIZALLAMIENTO PARA DEFORMACIÓN DE 0.38mm	$P_{0.38, prom} / \text{Factores}$ (kg)	52.46	62.43	72.63
	RESISTENCIA DE SIMPLE CIZALLAMIENTO PARA DEFORMACIÓN DE 0.38mm	$P_{0.38}$ (kg)	29.14	34.68	40.35
CÁLCULOS PARA CARGA ÚLTIMA	CARGA ULTIMA MINIMA	$P_{u, min}$ (kg)	141.99	167.40	197.37
	PRODUCTO DE FACTORES DE REDUCCIÓN	$1.50 \times 1.50 \times 1.25$	2.82	2.82	2.82
	RESISTENCIA DE DOBLE CIZALLAMIENTO PARA CARGA ÚLTIMA	$P_{u, min} / \text{Factores}$ (kg)	50.35	59.36	69.99
	RESISTENCIA DE SIMPLE CIZALLAMIENTO PARA CARGA ÚLTIMA	P_u (kg)	27.97	32.98	38.88
CARGA ADMISIBLE DE DISEÑO		P_{adm} (kg)	27.97	32.98	38.88

4.3.2 Resistencia a doble cizallamiento según EUROCODIGO 5

El cálculo teórico de la resistencia a doble cizallamiento de las 3 uniones clavadas se realiza a partir de contar con los datos de entrada que se menciona en las primeras filas de la **Tabla 52**, tales datos básicos son las propiedades físicas y alguno fue obtenida como resultado de ensayo de laboratorio. Estos datos son la densidad básica (ρ_k), el diámetro del clavo (d), los espesores de la madera (t_1) correspondiente al espesor de la pieza lateral y (t_2) el espesor de la pieza central; también se necesita la penetración de la punta del clavo (t_p) y el último dato necesario la obtuvimos directamente del ensayo de resistencia a la tracción del clavo ($f_{u,k}$)

Empezamos a calcular las resistencias características al aplastamiento para cada pieza de madera: ($f_{h,1k}$) para la pieza de madera lateral y ($f_{h,2k}$) para la pieza de madera central y estas expresiones las dividimos para obtener el parámetro (β). Las expresiones para calcular el aplastamiento de las piezas de madera y el parámetro (β), son:

$$f_{h,1k} = f_{h,2k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Se continua con el cálculo del momento de plastificación ($M_{y,Rk}$) que depende de la resistencia a la tracción del clavos ($f_{u,k}$) determinado en el laboratorio, el valor del momento de plastificación se calcula así $M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} \rho^{2.6}$; también se calcula el valor de la extracción del clavo ($F_{ax,Rk}$) con la siguiente expresión $F_{ax,Rk} = 0.00002 \rho_k^2 \cdot d \cdot t_{pen}$, según la normativa europea la extracción del clavo puede ser afectado por un factor si fuera el caso de cumplir la condición que se menciona a continuación.

Si se cumple que $8d < t_{pen} < 12d$, entonces se usa el factor:

$$Factor = \frac{t_{pen}}{4d} - 2$$

El nuevo valor de extracción se determina con la siguiente expresión:

$$\frac{F_{ax,Rk}}{Factor}$$

Ese sería el procedimiento según la Norma Europea, esta expresión sería la nueva resistencia a la extracción; sin embargo, para el caso de uniones clavadas de la presente tesis, la penetración de su punta está por debajo de 8d, para todos los clavos, por lo tanto no se factora.

Ahora con los parámetros obtenidos anteriormente como: los aplastamientos de la madera $f_{h,1k}$ y $f_{h,2k}$, el momento de plastificación ($M_{y,Rk}$), el peso y las características geométricas, usando el 15% de la resistencia a la extracción por tratarse de clavos comunes de sección circular.

Calculamos la capacidad portante ($F_{v,Rk}$) de cada modo de rotura propuestos por el Eurocódigo 5 con las siguientes expresiones:

Modo g:

$$F_{v,Rk} = f_{h,1k} t_1 d$$

Modo h:

$$F_{v,Rk} = 0.5 \cdot f_{h,2k} t_2 d$$

Modo j:

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

Modo

k:

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

Dividiendo entre la aceleración de la gravedad se cambia las unidades a Kilogramos, de los cuatro modos de falla escogemos el menor valor, el cual será la capacidad portante menor ($F_{v,Rk}$).

Se selecciona el factor de modificación (K_{mod}) de la **Tabla 11** y el coeficiente parcial de seguridad (γ_M) de la **Tabla 12**. La norma Europea nos indica que con todo este proceso se obtiene la capacidad de carga de cálculo para un solo plano de falla o lo que nosotros llamamos Resistencia a simple cizallamiento de uniones clavadas, la cual es posible con la siguiente expresión:

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

Dividiendo este valor entre dos obtenemos la Resistencia a doble cizallamiento de uniones clavadas, los resultados se observan en la **Tabla 52**.

Tabla 52: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según el EUROCÓDIGO 5
Fuente: Elaborado por el autor

NOMBRES	SIMBOLO Y UNIDAD	UNIONES CLAVADAS		
		DENSIDAD 388 (kg/m ³) L=2"	DENSIDAD 360 (kg/m ³) L=2 1/2"	DENSIDAD 366 (kg/m ³) L=3"
DENSIDAD BÁSICA	ρ_k (kg/m ³)	388	360	366
DIÁMETRO DE CLAVO	d (mm)	2.76	3.38	3.78
ESPEORES DE LAS TABLAS DE MADERA	t_1 (mm)	13.5	16	19
	t_2 (mm)	27	32	38
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA AL APLASTAMIENTO DE MADERA	$f_{h,1,k}$ (N/mm ²)	23.46	20.49	20.14
	$f_{h,2,k}$ (N/mm ²)	23.46	20.49	20.14
PARAMETRO β	$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	1.00	1.00	1.00
PENETRACIÓN DEL CLAVO	t_{pen} (mm)	13.5	16	19
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CLAVO	$f_{u,k}$ (MPa)	771	736	695
MOMENTO DE PLASTIFICACIÓN	$M_{y,Rk}$ (N mm)	3239.00	5238.00	6615.00
RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN	$F_{ax,Rk}$ (N)	112.19	140.18	192.42
CONDICIONES PARA USO DEL FACTOR EN LA RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN	$8xd$	22.08	27.04	30.24
	$8d < t_{pen} < 12d$	No	No	No
	Factor	-0.78	-0.82	-0.74
NUEVA RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN	$F_{ax,Rk}/Factor$ (N)	No factorar	No factorar	No factorar
Capacidad Portante para cada modo de rotura según modelo del Eurocódigo 5				
$F_{v,Rk}$ (N) PARA CADA MODO DE ROTURA	Modo g	874.21	1107.84	1446.41
	Modo h	874.21	1107.84	1446.41
	Modo j	524.55	682.65	829.65
	Modo k	772.88	1014.48	1202.22
CAPACIDAD PORTANTE MENOR	$F_{v,Rk}$ (N)	524.55	682.65	829.65
CAPACIDAD PORTANTE MENOR	$F_{v,Rk}$ (kg)	53.47	69.59	84.57
Coefficiente y factor de seguridad que afectan al valor característico de la capacidad de carg				
COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD	γ_M	1.30	1.30	1.30
FACTOR DE MODIFICACIÓN	K_{mod}	0.60	0.60	0.60
RESISTENCIA A SIMPLE CIZALLAMIENTO	R_d (kg)	24.68	32.12	39.03
RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO	R_d (kg)	49.36	64.23	78.07

4.3.3 Resistencia a doble cizallamiento según NBR 7190

Para iniciar a diseñar las uniones Clavadas según la norma NBR7190 se requiere proporcionar de datos físicos de la madera así como de datos de resultados experimentales de laboratorio. Entre los parámetros físicos necesarios se menciona el espesor de la pieza lateral (t_1) y el espesor de la pieza central (t_2), también se requiere del diámetro del clavo (d), por otro lado requiere del aplastamiento característico de la madera ($f_{e\theta k}$) y la fluencia característica del clavo (f_{yk}), con la disponibilidad de estos parámetros se procede a desarrollar los cálculos para la determinar la Resistencia de uniones clavadas por clavo y por plano de falla.

Primero obtenemos el espesor representativo (t) seleccionando el menor valor de (t_1) y ($t_2/2$), con este nuevo valor representativo del espesor calculamos el parámetro (β) de la siguiente manera $\beta = t/d$.

De los resultados de los ensayos complementarios, obtenemos los parámetros: (f_{yk}) de la **Tabla 32** y ($f_{e\theta k}$) de la tabla **Tabla 47**, luego estos valores; el parámetro de la madera ($f_{e\theta k}$) se divide entre el coeficientes de minoración de resistencia para estados límites últimos de la madera (γ_{wc}) y el parámetro del clavo (f_{yk}) se divide entre el coeficientes de minoración de resistencia del acero (γ_s); así se obtiene la resistencia de diseño al aplastamiento de la madera $f_{e\theta d} = f_{e\theta k} / \gamma_{wc}$ de forma similar se obtiene la resistencia de diseño en fluencia del clavo $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$, con estos últimos valores calculamos el valor del parámetro límite (β_{lim}) con la siguiente expresión:

$$\beta_{lim} = 1.25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{e\theta d}}}$$

Si $\beta \leq \beta_{lim}$, entonces se calcula la resistencia de diseño para un clavo ($R_{vd,1}$) de la siguiente manera $R_{vd,1} = 0.5 t d f_{e\theta d}$, y si resulta que $\beta > \beta_{lim}$, entonces se usa otra expresión que se vió en la parte teórica, aquí no es el necesario, luego a los resultados de ($R_{vd,1}$) le cambiamos las unidades de Newton a Kilogramos dividiéndolo entre la aceleración de la gravedad ($g=9.81 \text{ m/s}^2$). A dicha resistencia de diseño se le afecta por el coeficiente de modificación (K_{mod}) que tienen la función de afecta los valores de cálculo de las propiedades de la madera, donde $k_{mod} = k_{mod,1} k_{mod,2} k_{mod,3}$. Dos factores se obtienen de las tablas de factores

recomendados por la norma NBR 7190; la **Tabla 13** nos proporciona un valor de $k_{mod,1} = 0.6$ para cargas del tipo permanente y en madera aserrada, la

Tabla 15 nos proporciona $k_{mod,2} = 1$ para maderas con un contenido de humedad de equilibrio alrededor del 12 %, y el valor de $k_{mod,3} = 1$ para condiciones de madera de primera categoría es decir sin visualización de defectos, De esa manera multiplicamos el valor de (K_{mod}) a la resistencia de diseño para un clavo ($R_{vd,1}$) para obtener la resistencia admisible a simple cizallamiento ($R_{adm,vd,1}$)

$$R_{adm,vd,1} = k_{mod} R_{vd,1}$$

Finalmente multiplicamos por dos al valor de ($R_{adm,vd,1}$) para obtener la resistencia a doble cizallamiento ($R_{adm,vd,2}$)

Tabla 53: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la Norma Brasileira NBR 7190.
Fuente: Elaborado por el autor

NOMBRES	SIMBOLO Y UNIDAD	DENSIDAD 388 (kg/m3) L=2"	DENSIDAD 360 (kg/m3) L=2 1/2"	DENSIDAD 366 (kg/m3) L=3"
DENSIDA BÁSICA	ρ_k (kg/m ³)	388	360	366
PIEZAS DE MADERA: LATERAL (t1)	t1 (mm.)	13.5	16	19
CENTRAL (t2)	t2 (mm.)	27	32	38
MITAD DE LA PIEZA CENTRAL	t2 /2 (mm.)	13.5	16	19
SELECCIÓN DEL MENOR VALOR	t (mm.)	13.5	16	19
DIÁMETRO DE CLAVO	d (mm.)	2.76	3.38	3.78
PARAMETRO B	$\beta = t / d$	4.89	4.73	5.03
FLUENCIA DEL CLAVO	f y,k (N/mm ² .)	573	546	595
APLASTAMIENTO DE LA MADERA	f e0k (N/mm ² .)	19.57	18.48	18.80
COEFICIENTE DE MINORACION DEL CLAVO	γ_s	1.10	1.10	1.10
COEFICIENTE DE MINORACION DE LA MADERA	γ_w	1.40	1.40	1.40
RESISTENCIA DE DISEÑO DE FLUENCIA	f y,d (N/mm ² .)	520.91	496.36	540.91
RESISTENCIA DE DISEÑO AL APLASTAMIENTO	f e0d (N/mm ² .)	13.98	13.20	13.43
PARAMETRO LIMITE DE B	β_{Lim}	7.63	7.67	7.93
CONDICIÓN PARA DECIDIR.	$\beta \leq \beta_{Lim}$	SI	SI	SI
RESISTENCIA DE DISEÑO DE UN CLAVO	R vd,1 (N)	260.42	356.93	482.22
RESISTENCIA DE DISEÑO DE UN CLAVO	R vd,1 (kg)	26.55	36.38	49.16
COERCIENTES DE MODIFICACIÓN	K mod1	0.60	0.60	0.60
	K mod2	1.00	1.00	1.00
	K mod3	1.00	1.00	1.00
PRODUCTO DE FACTORES	K mod	0.60	0.60	0.60
RESISTENCIA DE SIMPLE CIZALLAMIENTO	R adm,vd 1 (kg)	15.93	21.83	29.49
RESISTENCIA DE DOBLE CIZALLAMIENTO	R adm,vd 2 (kg)	31.86	43.66	58.99

4.3.4 Resistencia a doble cizallamiento según CIRSOC 601

Para el cálculo de la resistencia a doble cizallamiento de las 3 uniones se usaron sus correspondientes diámetros (D), gravedades específicas (G) así como las dimensiones de los espesores de las piezas de madera: la longitud del miembro central (l_m) y la longitud del miembro lateral (l_m) como se vió en la **Figura 14**, para casos en los que la fuerza de acción tiene un ángulo con la dirección de las fibras de la madera usamos el parámetro angular (θ) y para nuestro caso el valor es cero.

Teniendo los valores de los parámetros geométricos, las propiedades físicas del clavo y la madera para los tres tipos de uniones, ya se pueden calcular las resistencias tanto para doble y simple cizallamiento, en el orden que se muestra en los siguientes procedimientos:

Primero se calcula la fuerza de resistencia al aplastamiento para la pieza central y la pieza lateral con la expresión $F_e = 114.4 G^{1.84}$, también se calcula el parámetro de relación (R_e) entre las fuerzas al aplastamiento correspondientes a cada pieza de cada Unión $R_e = F_{em} / F_{es}$. También se calcula el coeficiente de reducción (R_d) previamente calculamos 2 parámetros: uno es el parámetro del Diámetro (K_D) cuya expresión es $K_D = 0.38D + 0.56$, sin embargo la norma indica que para diámetros de clavo menores a 4.3 mm el K_D toma el valor de 2.2; el otro es el parámetro del ángulo (K_θ) que se obtiene de la siguiente manera $K_\theta = 1 + 0.25(\theta / 90)$ y así obtendremos el coeficiente de reducción $R_d = K_D K_\theta$

Ahora se calcula un parámetro auxiliar (K_3) que usa la norma Argentina como base para hallar la capacidad admisible según el modo de rotura tipo IIIs, y la expresión para su cálculo es la siguiente:

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

Por otro lado también se necesita la tensión de Fluencia en Flexión (F_{yb}) que depende de la resistencia última de tracción (F_{uk}) y la tensión de fluencia del clavo (F_{yk}), ambos valores solo se obtienen a partir de ensayos de laboratorio.

Los resultados de Laboratorio N° 12 de la Universidad Nacional De Ingeniería (LABICER) nos proporcionaron los datos que se procesaron anteriormente (F_{yk})

en la **Tabla 32** y (F_{uk}) en la **Tabla 45**, con estos valores obtenemos la fluencia en flexión de la siguiente manera:

$$F_{yb} = \frac{F_{yk} + F_{uk}}{2}$$

Con todos los parámetros listos reemplazamos en las siguientes expresiones para calcular las capacidades admisibles para cada modo de falla que se presenta a continuación:

$$Z = \frac{D L_m F_{em}}{R_d} \text{ Modo de falla } I_m \text{ (h)}$$

$$Z = \frac{2 D L_s F_{em}}{R_d} \text{ Modo de falla } I_s \text{ (g)}$$

$$Z = \frac{2 K_3 D L_s F_{em}}{(2+R_e)R_d} \text{ Modo de falla } III_s \text{ (j)}$$

$$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}} \text{ Modo de falla } IV \text{ (k)}$$

El menor de los valores de Z es seleccionado denominándolo ahora Z_{car} , y seguidamente se le afecta por los factores de ajuste mencionados en la parte teórica $C_D, C_M, C_t, C_g, C_{tn}$; los 3 primeros factores usan los valores que se encuentra en la **Tabla 18**, **Tabla 19** y **Tabla 20** respectivamente; para el caso de Factor de acción de grupo C_g usamos el valor de uno, para diámetros menores a 6.35mm y para el Factor de clavado oblicuo C_{tn} elegimos el valor de uno, ya que no hay clavados en dirección inclinada.

Finalmente se multiplica dichos factores de ajuste a la capacidad portante (Z_{car}), para obtener la resistencia a doble cizallamiento (Z_{adm}) con la expresión siguiente:

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

La norma Argentina CIRSOC601 es una de las normas que haciendo uso de sus expresiones nos proporciona como resultado la resistencia a doble cizallamiento, y para obtener la resistencia a simple Cizallamiento solo se debe dividir entre dos.

La **Tabla 54** presenta los valores del desarrollo de cálculo para los tres tipos de uniones Clavadas.

Tabla 54: Resultados de cálculo teórico de resistencia a doble cizallamiento según la norma Argentina CIRSOC 601

Fuente: Elaborado por el autor

NOMBRE	SIMBOLO Y UNIDAD	UNIONES CLAVADAS		
		DENSIDAD 388 (kg/m3) L=2"	DENSIDAD 360 (kg/m3) L=2 1/2"	DENSIDAD 366 (kg/m3) L=3"
GRAVEDAD ESPECÍFICA ANHIDRIDA	G	0.388	0.360	0.365
PIEZA DE MADERA LATERAL	L_s (mm.)	13.5	16	19
PIEZA DE MADERA CENTRAL	L_m (mm.)	27	32	38
DIÁMETRO DE CLAVO	D (mm.)	2.76	3.38	3.78
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DEL MIEMBRO PRINCIPAL	F_{em} (N/mm ²)	20.000	17.488	17.918
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DEL MIEMBRO LATERAL	F_{es} (N/mm ²)	20.000	17.488	17.918
RELACIÓN DE RESISTENCIAS	$Re = F_{em} / F_{es}$	1.00	1.00	1.00
R_d : COEFICIENTE DE REDUCCIÓN POR EFECTOS DEL ÁNGULO Y EL DIÁMETRO				
ÁNGULO DE LA FUERZA RESPECTO A LAS FIBRAS	θ	0.00	0.00	0.00
PARÁMETRO ANGULAR ENTRE CARGA Y FIBRAS	K_θ	1.00	1.00	1.00
PARÁMETRO DEL DIAMETRO	K_D	2.20	2.20	2.20
COEFICIENTE DE REDUCCIÓN	R_d	2.20	2.20	2.20
CARACTERÍSTICAS DEL CLAVO: TRACCIÓN Y FLUENCIA				
FLUENCIA CARACTERÍSTICA DEL CLAVO	F_{yk} (N/mm ² .)	573.00	546.00	595.00
ESFUERZO DE TRACCIÓN DEL CLAVO	F_{uk} (N/mm ² .)	771.00	736.00	697.00
TENSION DE FLUENCIA EN FLEXIÓN DEL CLAVO	F_{yb} (N/mm ² .)	672.00	641.00	646.00
PARÁMETRO k_3	k_3	1.61	1.70	1.62
CAPACIDADES ADMISIBLES (Z) SEGÚN LOS MODOS DE ROTURA PARA 2 SECCIONES DE CORTE				
CAPACIDADES ADMISIBLES SEGÚN MODO DE ROTURA EN (N)	$Z_{\text{Modo } I_m}$ (N)	677.44	859.78	1169.91
	$Z_{\text{Modo } I_s}$ (N)	677.44	859.78	1169.91
	$Z_{\text{Modo } III_s}$ (N)	363.42	486.22	630.97
	$Z_{\text{Modo } IV}$ (N)	463.51	634.86	806.86
CAPACIDAD PORTANTE MÍNIMA	Z_{car} (N)	363.42	486.22	630.97
CAPACIDAD PORTANTE MÍNIMA	Z_{car} (kg)	37.05	49.56	64.32
FACTOR DE DURACIÓN DE LA CARGA	C_d	0.90	0.90	0.90
FACTOR DE CONDICIÓN DE SERVICIO	C_M	1.00	1.00	1.00
FACTOR DE TEMPERATURA	C_t	1.00	1.00	1.00
FACTOR DE ACCIÓN DE GRUPO	C_g	1.00	1.00	1.00
FACTOR DE CLAVADO OBLICUO	C_{tn}	1.00	1.00	1.00
RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO	Z_{adm} (kg)	33.34	44.61	57.89
RESISTENCIA A SIMPLE CIZALLAMIENTO	$Z_{adm \text{ Simple}}$ (kg)	16.67	22.30	28.94

4.3.5 Resistencia a doble cizallamiento según la (USDA)

Diversos códigos de diseño consideran las cargas correspondientes a 0.38mm (0.015") de deformación como base para la determinación de cargas admisibles por lo cual el uso del Manual de diseño de maderas del grupo Andino elaborado por la JUNAC forma parte de ese grupo de normas que de alguna forma se asemeja a la expresión matemática que menciona la USDA, con sus resultados se podrá saber que tanto difieren sus diseños.

Según la USDA el cálculo para obtener directamente la Resistencia de carga lateral en uniones de madera con clavo, que para propósitos de esta tesis la conocemos con el nombre de resistencia a simple cizallamiento se desarrolla de la siguiente manera:

Vamos a la **Tabla 21** donde buscamos "K" el coeficiente de carga lateral correspondiente a la densidad de nuestra especie maderable que se usó en los 3 tipos de probetas que ensayamos, la tabla nos indica un $K = 50.04$ para una gravedad específica promedio de 0.371

Para cada tipo de unión clavada reemplazamos los diámetros de los 3 tipos de clavo correspondientes a nuestras 3 probetas en la siguiente expresión:

$$P = K D^{3/2}$$

Remplazando los valores obtenemos los valores de la resistencia, en la **Tabla 55** se muestra los valores de los procesos de cálculo.

Tabla 55: valores admisibles de diseño a simple cizallamiento considerando las cargas correspondientes a 0.38mm de deformación según la USDA

Fuente: Elaborado por el autor

NOMBRE		L=2"	L=2 1/2"	L=3"
DIÁMETRO DE CLAVO	D (mm)	2.76	3.38	3.78
COEFICIENTE DE CARGA LATERAL	K	50.04	50.04	50.04
RESISTENCIA DE CARGA LATERAL (SIMPLE CIZALLAMIENTO)	P (N)	229.45	310.95	367.75
	P (kg)	23.39	31.70	37.49

Finalmente se concluye que según la USDA los valores admisibles obtenidos considerando las cargas correspondientes a 0.38mm (0.015") de deformación en los 3 tipos de uniones son: 23.40 kg para (clavos de 2" de longitud y densidad de la madera de 388 kg/m³), 31.70 kg para (clavos de 2 1/2" de longitud y densidad de la madera de 360 kg/m³) y 37.50 kg para (clavos de 3" de longitud y densidad de la madera de 366 kg/m³).

4.3.6 Resumen de cargas admisibles

Todas las cargas admisibles de diseño desarrollado con cada norma se comparan con las cargas admisibles que provienen de los resultados experimentales de laboratorio y se realizan por tipo de Unión clavada (clavos de 2" de longitud y 388 kg/m³ de densidad de la madera), (clavos de 2 1/2" de longitud y 360 kg/m³ de densidad de la madera) y (clavos de 3" de longitud y 366 kg/m³ de densidad de la madera).

A continuación, se muestra el cuadro resumen de los diversos resultados de cargas admisibles obtenidos con cada código de diseño y los resultados experimentales de laboratorio.

Tabla 56: Cuadro resumen de cargas de diseño por clavo en simple cizallamiento por cada tipo norma de diseño y para los 3 tipos de uniones clavadas.
 Fuente: Elaborado por el autor

UNIONES CLAVADAS CONSTITUIDAS POR		CARGA ADMISIBLE DE DISEÑO POR CLAVO Y A SIMPLE CIZALLAMIENTO (kg)					
DENSIDAD DE LA MADERA (kg/m ³)	LONGITUD DEL CLAVO (pulgadas)	RESULTADOS EXPERIMENTALES	TEÓRICOS (SEGÚN DIFERENTES NORMAS)				USDA (0.38 mm) P
			JUNAC P _{adm}	EUROCÓDIGO 5 R _d	NBR 7190 R _{adm,vd 1}	CIRSOC 601 Z _{adm Simple}	
388	2"	24.59	27.97	24.68	15.93	16.67	23.39
360	2 1/2"	32.48	32.98	32.12	21.83	22.30	31.70
366	3"	39.12	38.88	39.03	29.49	28.94	37.49

En discusión de resultados se analiza y compara estos valores por tipo de unión clavada, con el objetivo de conocer la aproximación de los diseños de las diferentes normas a los resultados experimentales en cada unión diferente.

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Del cuadro resumen anterior la **Tabla 56** se hace el análisis de cargas admisibles por tipo de unión clavada. A continuación, se presenta unos gráficos (diagrama de barras), donde se puede notar mejor que tan próximos se encuentran los diseños propuestos por las normas respecto a los resultados experimentales por cada tipo de unión Clavada.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DISEÑOS PARA UNIONES CON CLAVOS DE 2"

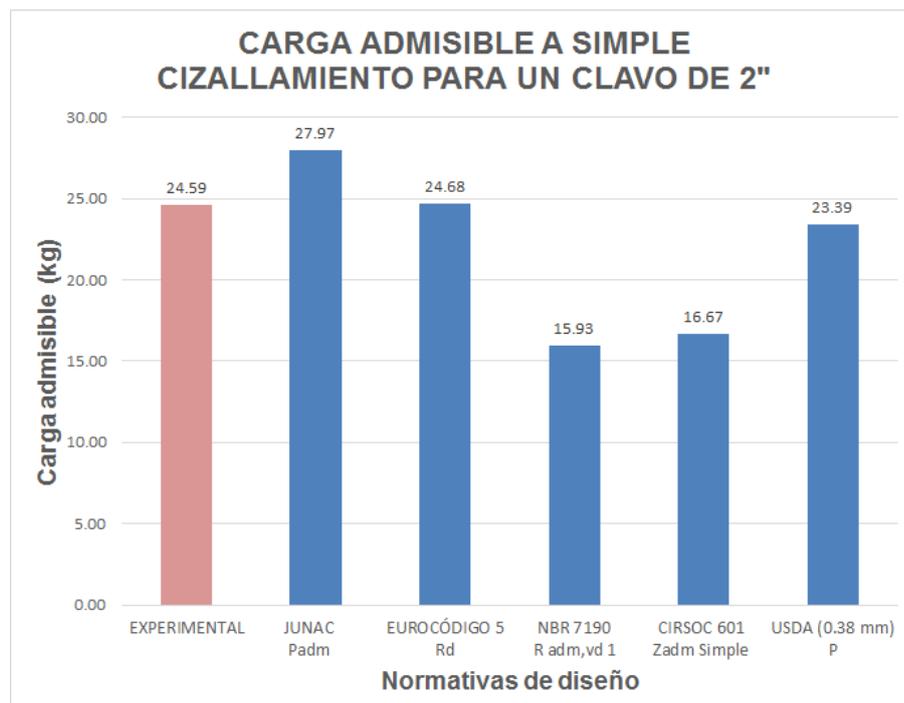


Gráfico 1: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 2"

Del **Gráfico 1** se puede notar que la carga de diseño de la JUNAC esta por encima del valor experimental y el valor de diseño la norma Europea (Eurocódigo 5) esta muy cercano al valor experimental para uniones clavadas con 388 kg/m³ de densidad básica y clavos de 2" de longitud; el valor que más se aleja es la carga de diseño de la NBR 7190. En la **Tabla 57** se puede ver en porcentajes que tan próximos se encuentran los diseños de cada norma respecto a los valores experimentales.

Tabla 57: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 2”

Fuente: Elaborado por el autor

NORMA	PORCENTAJE
JUNAC	113.76%
EUROCÓDIGO 5	100.36%
NBR 7190	64.77%
CIRSOC 601	67.80%
USDA (0.38 mm)	95.12%

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DISEÑOS PARA UNIONES CON CLAVOS DE 2 1/2”

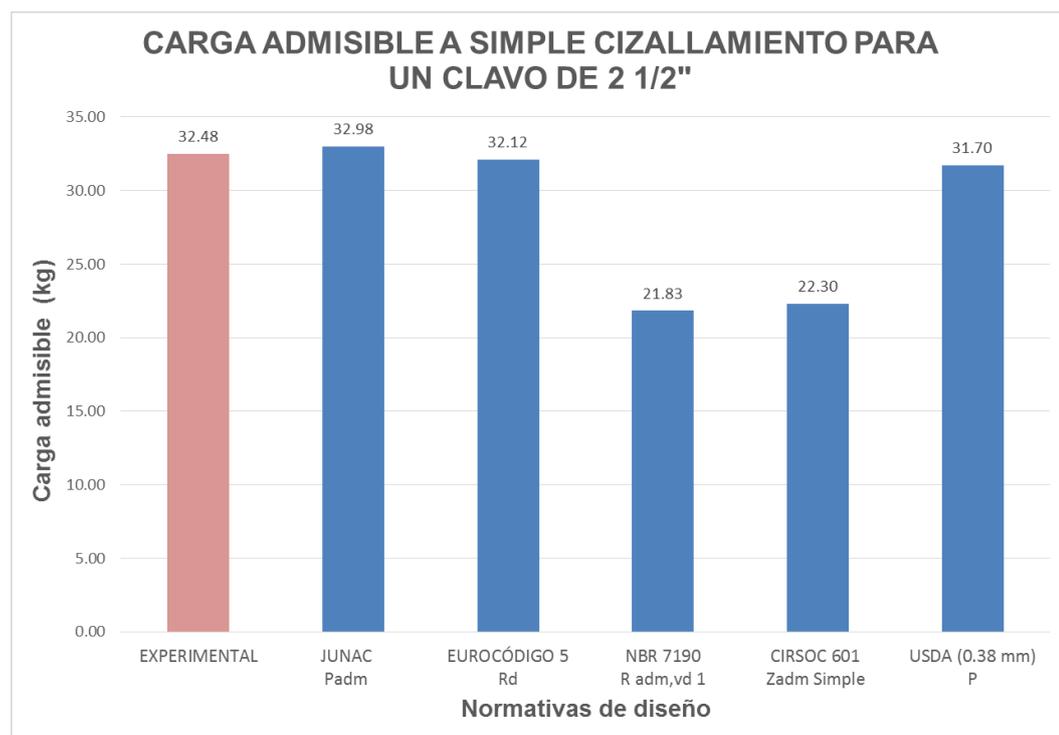


Gráfico 2: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 2 1/2”

Del **Gráfico 2** se puede notar que la carga de diseño de la JUNAC es ligeramente mayor que el valor experimental, mientras que el diseño de la norma Europea (Eurocódigo 5) es practicamente el mismo valor de diseño experimental para uniones clavadas con 360 kg/m³ de densidad básica y clavos de 2 1/2” de longitud; el valor que más se aleja es la carga de diseño de la NBR 7190. En la **Tabla 58** se puede ver en porcentajes que tan próximos se encuentran los diseños de cada norma respecto a los valores experimentales.

Tabla 58: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 2 ½”

Fuente: Elaborado por el autor

NORMA	PORCENTAJE
JUNAC	101.54%
EUROCÓDIGO 5	98.88%
NBR 7190	67.21%
CIRSOC 601	68.67%
USDA (0.38 mm)	97.59%

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DISEÑOS PARA UNIONES CON CLAVOS DE 3”

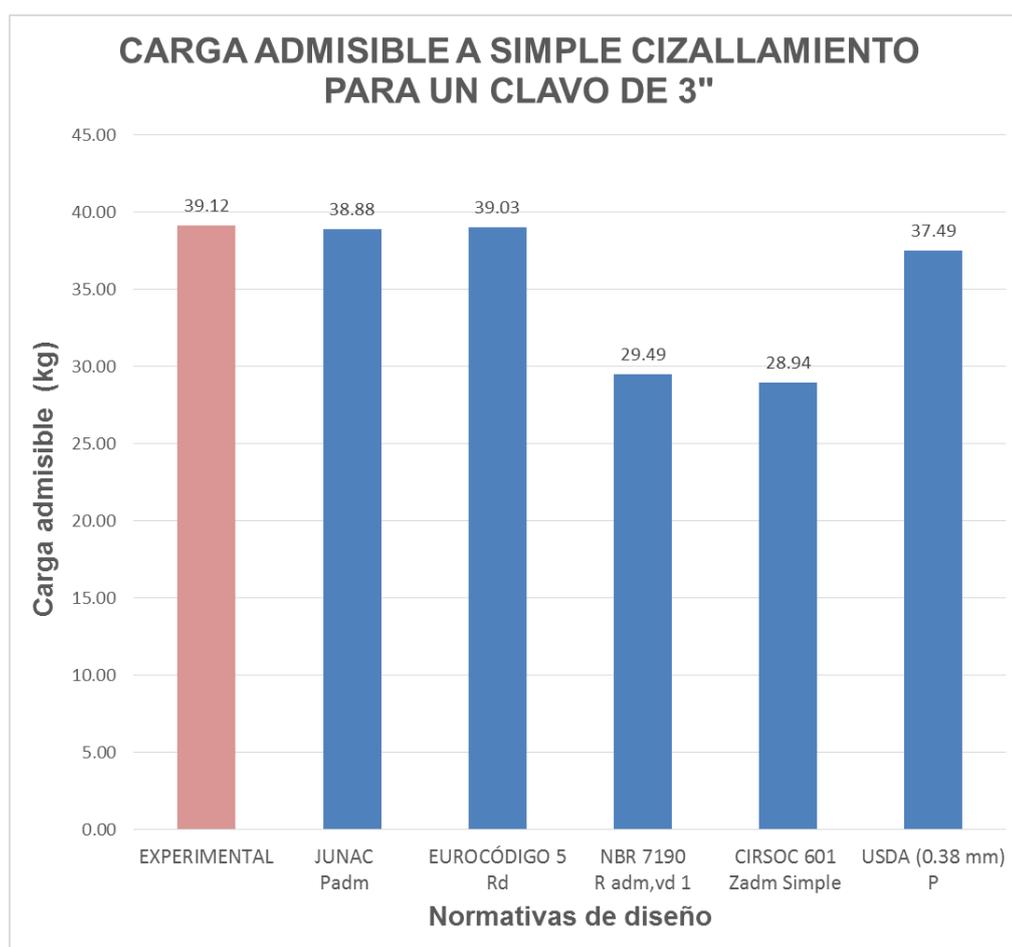


Gráfico 3: Diagrama de barras de cargas admisibles correspondientes a los diseños de uniones clavadas con diversas normas y la carga admisible experimental para clavos de 3”

Del **Gráfico 3** se puede notar que las cargas de diseño de la norma Europea (Eurocódigo 5) y la JUNAC están por debajo y muy cerca al valor de la carga admisible del resultado experimental para uniones clavadas con 366 kg/m³ de densidad básica y clavos de 3” de longitud; el valor que más se aleja es la carga

de diseño de la CIRSOC 601. En la **Tabla 59** se puede ver en porcentajes que tan próximos se encuentran los diseños de cada norma respecto a los valores experimentales.

Tabla 59: Comparación porcentual de las cargas admisibles de las normas de diseño respecto la carga admisible experimental, para unión clavada de 3”

Fuente: Elaborado por el autor

NORMA	PORCENTAJE
JUNAC	99.42%
EUROCÓDIGO 5	99.80%
NBR 7190	75.41%
CIRSOC 601	74.00%
USDA (0.38 mm)	95.85%

Resultados experimentales y la norma E.010

Se sabe que la norma E.010 de reglamento Nacional de edificaciones en el capítulo de Uniones clavadas, presenta esfuerzos admisibles de uniones clavadas para los tres grupos de madera, correspondientes a clavos de distinto longitud y distinto diámetro, aquí esos valores los presentamos en la **Tabla 65**.

Tabla 60: Cargas admisibles de diseño de uniones clavadas por grupo de madera y tipo de clavo según la Norma E.010

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

CARGA ADMISIBLE POR CLAVO A SIMPLE CIZALLAMIENTO								
longitud		d	Carga admisible “N” (kg)					
mm	pulg	mm	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
			N	kg	N	kg	N	kg
51	2	2,4	411	45	343	35	245	25
		2,6	490	50	382	39	275	28
		2,9	569	58	441	45	304	31
		3,3	647	66	520	53	373	38
63	2 1/2	2,6	490	50	382	39	275	28
		2,9	569	58	441	45	304	31
		3,3	647	66	520	53	373	38
		3,7	745	76	588	60	431	44
76	3	3,3	647	66	520	53	373	38
		3,7	745	76	588	60	431	44
		4,1	863	88	667	68	481	49

la **Tabla 60** presenta los mismos valores de la tabla 10.2.2.2 de la Norma E.010, aquí se muestra los valores de las cargas admisibles para los clavos de 2", 2 ½" y 3" de longitud, gracias a la cual interpolando los valores de las cargas de diseño correspondientes a los diámetros de clavo que usamos en nuestros ensayos experimentales, obtenemos los siguiente valores admisibles que corresponderían a esta norma: 29.60 kg para uniones clavadas de (L=2"; d = 2.76 mm), 39.20 kg para uniones clavadas de (L=2 ½ "; d = 3.38 mm) y 45.00 kg para uniones clavadas de (L=3"; d = 3.78 mm)

Los ensayos realizados en el laboratorio se hizo para Uniones con 3 tipos de clavos con sus respectivas longitudes y diámetros, los resultados experimentales así como su desarrollo hasta obtener los esfuerzos admisibles se presentó en el capítulo 4.1.3 y sus valores se representan en el **Gráfico 4** para compararlo con los valores del grupo estructural tipo C de la norma E.010.

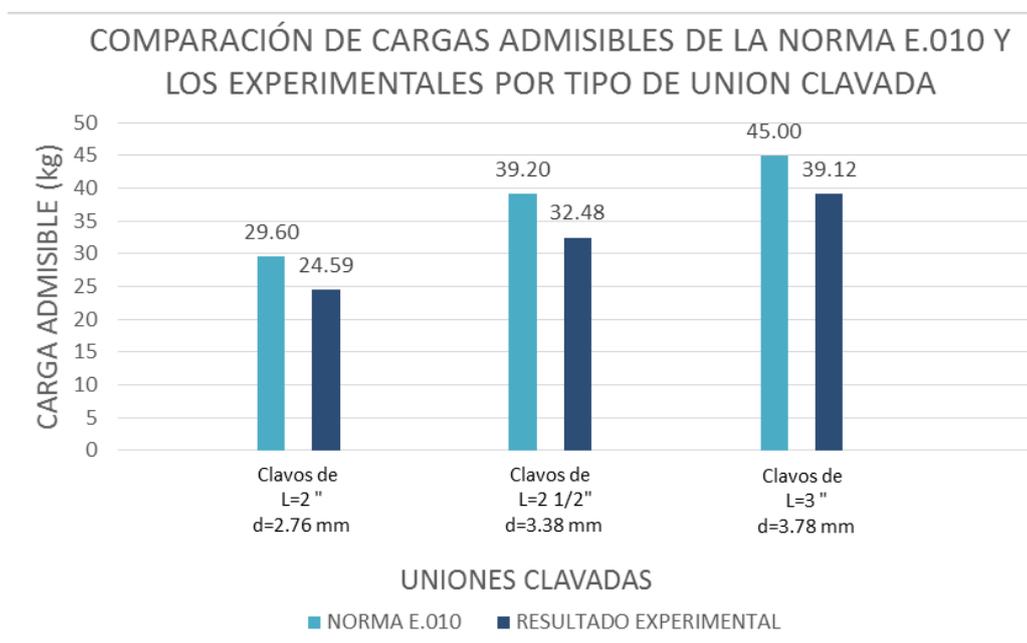


Gráfico 4: Diagrama de barras, comparativo entre cargas admisibles Experimentales con los valores de la Norma E.010 para calvos de diámetro (2.76, 3.38 y 3.78 mm)

En el **Gráfico 4** se observa que las cargas admisibles de los resultados experimentales de laboratorio son menores que las cargas admisibles de diseño de la Norma E.010 para los tres tipos de uniones, los valores experimentales están por lo menos 5 unidades por debajo de las cargas admisibles del grupo estructural de maderas tipo C.

Las cargas admisibles experimentales representan los siguientes porcentajes respecto a los valores admisibles de diseño de la norma E.010: para clavos de 2" con diámetro de 2.76mm representan el 83%, para clavos de 2 ½" con diámetro de 3.38mm representan el 83% y para clavos de 3" con diámetro de 3.78mm representan el 87%. Finalmente, de manera general en promedio se podría decir que las cargas admisibles de la madera Pashaco representa el 85% de las cargas admisibles de diseño del grupo C de la norma E.010

5 CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo de investigación realizado a uniones clavadas con madera Pashaco (*Albizia sp.*) sometidas a doble cizallamiento con aplicación de la carga paralela a la fibra, se obtuvo los valores de las cargas admisibles por clavo en simple cizallamiento para los 3 tipos de uniones clavadas y estos valores son: 24.59 Kg de carga para el tipo de unión clavada de (2" de longitud de clavo, con relación $l/d = 18.4$ y una densidad básica de 388 kg/m³), 32.48 Kg de carga para el tipo de unión clavada de (2 ½ " de longitud de clavo con relación $l/d = 18.8$ y una densidad básica de 360 kg/m³) y 39.12 Kg de carga para el tipo de unión clavada de (3" de longitud de clavo con relación $l/d = 20.2$ y una densidad básica de 366 kg/m³)

De las tres uniones clavadas estudiadas las cargas admisibles experimentales de la madera Pashaco están en el orden del 84% de las cargas admisibles de diseño del grupo C de la norma E.010.

Los valores admisibles de cada una de las normas de diseño teóricos respecto a la carga de diseño experimental muestra los siguientes porcentajes de aproximación en el siguiente orden: la JUNAC tiene una aproximación del 104%, esta cerca y por encima del valor experimental, El Eurocodigo esta por debajo con una aproximación de 99%, según la USDA tiene una aproximación del 96%, la norma CIRSOC 601 tiene una aproximación del 70%, la Norma NBR 7190 tiene una aproximación de 69%, cabe mencionar que todos los diseños se realizaron considerando un estado seco de la madera

Se concluye que la USDA y la JUNAC utilizan expresiones de cálculo sencillos que proporcionan unos valores mas cercanos al valor experimental, en cambio la NBR7190 y la CIRSOC601 son más conservadores y se alejan del valor experimental esto puede deberse a que no incluyen en su cálculo algunas variables como los hace el Eurocódigo 5.

La investigación se realizó con el propósito de que la madera Pashaco se incorpore a una nueva propuesta de clasificación de maderas a la cual denominaran "grupo D", con densidades inferiores a 0.40 g/cm³ que generalmente tienen un comportamiento mecánico menor y en ese sentido, la presente tesis nos confirma que los resultados experimentales son inferiores a los valores de diseño de maderas del Grupo C de la Norma E.010.

Por su densidad y por sus valores de cargas admisibles determinados, la especie maderable Pashaco (*Albizia sp.*) podría agruparse dentro de un nuevo grupo de clasificación estructural de maderas.

6 RECOMENDACIONES

Antes de hacer la compra de madera y los clavos asegurar que cumpla los requerimientos y las condiciones bajo los cuales se realizaran los ensayos de Laboratorio

Con el objetivo de reducir o hasta eliminar las incertidumbres de lo desconocido en plena ejecución de los ensayos, se recomienda prever temas mecánicos de instalación y los detalles de la geometría de los especímenes, para lo cual orientarse recibiendo consejos tanto de la línea profesional, así como del personal de laboratorio.

Por su bajo costo se recomienda usar la madera Pashaco en estado seco en viviendas de la zona, tomando en consideración que se aplique preservantes (químicos) contra insectos para así garantizar la durabilidad de la madera

Se recomienda hacer estudios más minuciosos referentes a los ensayos de tracción del clavo, extracción del clavo y aplastamiento de la madera debido al clavo tomando una mayor cantidad de muestras para que sea representativa.

Sabiendo que ya se cuenta con una base de la teoría de fluencia para el estudio de uniones clavadas propuesta por Johansen y el Eurocodigo 5, se recomienda hacer estudios de uniones clavadas planteándose distintas variables de análisis.

7 REFERENCIAS

1. Ministerio de Agricultura y dirección general de investigación Agraria UNALM, Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del País, *Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Vol I*, Lima, Diciembre 1974.
2. Ministerio de Agricultura y dirección general de investigación Agraria UNALM, Características Tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt, *Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Vol III*, Lima, Diciembre 1975.
3. Herrera, G.F. (2016). *Clasificación Estructural de la madera Pashaco (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
4. 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 Mayo de 2015.
5. Domínguez Lorenzo Manuel, *Estudio de Uniones en Estructuras de Madera con uso de Elementos Clavija*, Tesis Doctoral, Zamora, 2015.
6. Junta del Acuerdo de Cartagena, *Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino*, Lima, 3ª Edición Preliminar Corregida (1984).
7. Junta del Acuerdo de Cartagena, *Ensayos de Uniones Calvadas con Maderas de 49 Especies de la Subregión Andina*, Lima, 1982
8. Junta del Acuerdo de Cartagena, *Cartilla de construcción con madera de la comunidad Andina*, Lima, 1980
9. Corrales P. A. (2018), *Uniones Estructurales Clavadas con madera Pashaco Albizzia sp. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
10. Torres M. R. (1970), *Resistencia a la extracción y la carga lateral en uniones Clavadas de Madera tornillo (Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal)*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

11. Villa Meneses M. A. (1995), *Cizallamiento de Uniones Clavadas con clavos de caña lisa y Helicoidal den Maderas de Bombacaceae (Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal)*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
12. DB SE-M “Documento Básico de Seguridad Estructural de la madera” Ministerio de Fomento-Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda-Secretaria General de Vivienda-Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, *Norma equivalente a UNE EN 1995 del Eurocode 5*, España, diciembre 2019
13. NBR 7190-1997, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), *Projeto de estruturas de madeira*, Rio de Janeiro-Brasil-1997.
14. CIRSOC 601 (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles), *Reglamento Argentino de Estructuras de madera*, Buenos Aires-República de Argentina, 2013.
15. USDA (United States Department of Agriculture), *Wood Handbook-wood as an engineering material* EEUU, Abril 2010

8 BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE RUIZ Y. (2014), Determinación de las propiedades Físicas a tres alturas del Fuste de Senefelderia inclinada Mart "Huangana Caspi" (Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
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, Perú (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-Perú, 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, Perú (1976).
6. Confederación Peruana de la Madera. CPM, Ing. Nancy Cáceres, *Compendio de información técnica de 32 especies forestales tomo II*, 2° Edición, Lima-Perú, Diciembre 2008
7. Corporación Chilena de Maderas CORMA, *Construcción de Viviendas en Madera-Unidad 7: Fijaciones y Uniones*, Chile (2003).
8. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, MADERA. *Método para determinar la densidad*, NTP 251.011.2014.
9. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, MADERA. *Métodos para determinar el contenido de humedad*, NTP 251.010.2014.
10. 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-Perú, 2010.

11. Ministerio de Agricultura y dirección general de investigación Agraria UNALM, *Normas y métodos Estudio Tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Vol II*, Lima, Mayo 1975.
12. 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*, UNIFIC, Perú (1970).
13. 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, México-2014.
14. UNE EN 1380, *Estructuras de Madera, Métodos de ensayo, Uniones estructurales con clavos tornillos, clavijas y pernos*, Madrid-España, 2009.
15. UNE EN 14358, *Estructuras de Madera, Determinación y verificación de los valores característicos*, Madrid-España, 2016.
16. UNE EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5, CEN "European Committee for Standardization, *Design of Timber Structures. Part 1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings*, European countries, April 2004

ANEXO B



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo 203
APDO.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 proporcionadas por el alumno **YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ** con código UNI N° 20081163G, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, empleada en su trabajo de tesis titulado: "**Resistencia a Doble Cizallamiento en Uniones Clavadas de la Especie Forestal Pashaco (*Albizzia sp.*)**"; 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



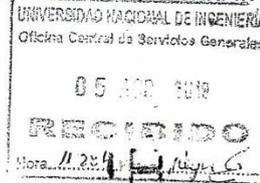
La Molina, 02 de abril 2018

ANEXO C



Solicito: **APOYO EN EL USO DE LAS
INSTALACIONES DE CARPINTERIA**

Ing. JESSICA CORNEJO LANDERS.
Jefa del OCSG
De la Universidad Nacional de Ingeniería
Presente.-



Yo, Yonathan Abad Calsina Sanchez, egresado de la promoción: 2014-II, con código UNI N° 20081163G, DNI N° 43732133 de la especialidad de Ingeniería Civil, ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que siendo muy importante desarrollar la Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, pues ahora estoy iniciando la tesis de investigación en el área de estructuras con el tema titulado: "RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO EN UNIONES CLAVADAS DE LA ESPECIE FORESTAL PASHACO (Albizzia sp.)", por lo cual **solicito a su despacho el uso de las instalaciones de carpintería**, para realizar el cepillado y clavado de 120 especímenes pequeños de madera que serán objeto de pruebas y estudio en los ensayos de Laboratorio que se realizarán en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales de la UNI, para obtener datos que aportarán a la futura investigación. Para esta investigación, cuento con el respaldo de la docente y jefa del Centro de Educación Continua de la Facultad de Ing. Civil: la Ing. Mg. ISABEL MOROMI NAKATA.

Por lo expuesto anteriormente le agradezco de antemano el apoyo brindado. Solicito acceder a mi petición por ser de justicia.

Adjunto:

- Documento aprobado del plan de Tesis.

Lima, 05 de Abril del 2018

YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ

TESISTA

CÓDIGO: 20081163G

Correo: abad_sc@hotmail.com

Teléfono: 954644999

Mg. ISABEL MOROMI NAKATA

ASESORA

Jefa(e) Centro de educación Continua

FIC-UNI

Telf. Of. 4040005, Cel: 991338347

30/04/2018

12:32 Am Hor. de Ingeniería

ANEXO D

Solicito: USO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS DEL LABORATORIO N°1 DE ENSAYO DE MATERIALES PARA ENSAYOS DE TESIS DE GRADO

Magister:
Ing. ANA TORRE CARRILLO.
Jefe del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales
De la Universidad Nacional de Ingeniería
Presente.-

Yo, Yonathan Abad Calsina Sanchez, egresado de la promoción: 2015-II , con código UNI N° 20081163G, DNI N° 43732133 de la especialidad de Ingeniería Civil, ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

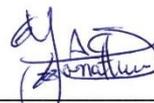
Que siendo muy importante desarrollar la Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, pues ahora estoy iniciando la tesis de investigación en el área de estructuras con el tema titulado: **“RESISTENCIA A DOBLE CIZALLAMIENTO EN UNIONES CLAVADAS DE LA ESPECIE FORESTAL PASHACO (Albizzia sp.)”**, por lo cual solicito a su despacho el uso de las instalaciones y equipos del laboratorio N°1 Ensayo de Materiales para la realización de los ensayos necesarios para mi investigación.

Por lo expuesto anteriormente, le agradezco de antemano el apoyo brindado. Solicito acceder a mi petición por ser de justicia.

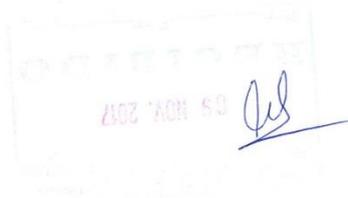
Adjunto:

- Plan de Tesis Aprobado.
- Lista de ensayos a realizar.

Lima, 09 de Noviembre del 2017



Calsina Sanchez Yonathan Abad
Bachiller, Código: 20081163G
Correo: abad_sc@hotmail.com
Teléfono: 954644999



ANEXO E



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA UNI
Oficina Central de Economía y Finanzas
UNIDAD DE TESORERÍA
DOMICILIO FISCAL:
Av. Túpac Amaru N° 210 - Rimac - Lima - Lima
TELF: 482-5072

R.U.C.: 20169004359

**BOLETA DE VENTA
ELECTRÓNICA**

N° B004 - 00144788

SEÑOR(ES) : ABAD CALSINA YONATHAN		FECHA EMISIÓN : 2020-01-24	
DNI : 43732133		TIPO MONEDA : SOLES	
PRESUPUESTO : SS. LABORATORIO DE QUIMICA INORGANICA		MEDIO PAGO : Efectivo	
DEPENDENCIA : CIENCIAS LAB. DE INVESTIGACION Y CERTIFICACIONES (LABICER)			

ÍTEM	CANT.	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDA MEDIDA	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO	VALOR DE VENTA
1	1.00	13392302	ANALISIS LABORATORIO - FACULTAD	UNI	260.00	220.34	220.34
OP. GRAVADAS		OP. INAFECTAS	OP. EXONERADAS	ANTICIPOS	I.G.V. 18%	TOTAL A PAGAR	
220.34		0.00	0.00	0.00	39.66	260.00	

SON: DOSCIENTOS SESENTA 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.occef.uni.edu.pe/webComprobantes>
Autorizado mediante Resolución de Intendencia N° 0320050000852/SUNAT

INFORMACION ADICIONAL

ELABORADO POR: lflores



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA UNI
Oficina Central de Economía y Finanzas
UNIDAD DE TESORERÍA
DOMICILIO FISCAL:
Av. Túpac Amaru N° 210 - Rimac - Lima - Lima
TELF: 482-5072

R.U.C.: 20169004359

**BOLETA DE VENTA
ELECTRÓNICA**

N° B004 - 00066832

SEÑOR(ES) : ABAD CALSINA YONATHAN		FECHA EMISIÓN : 2018-08-17	
DNI : 43732133		TIPO MONEDA : SOLES	
PRESUPUESTO : SS. LABORATORIO DE QUIMICA INORGANICA		MEDIO PAGO : Efectivo	
DEPENDENCIA : CIENCIAS LAB. DE INVESTIGACION Y CERTIFICACIONES (LABICER)			

ÍTEM	CANT.	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDA MEDIDA	PRECIO UNITARIO	VALOR UNITARIO	VALOR DE VENTA
1	1.00	13392302	ANALISIS LABORATORIO - FACULTAD	UNI	84.75	100.00	100.00
OP. GRAVADAS		OP. INAFECTAS	OP. EXONERADAS	ANTICIPOS	I.G.V. 18%	TOTAL A PAGAR	
84.75		0.00	0.00	0.00	15.25	100.00	

SON: CIEN 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.occef.uni.edu.pe/webComprobantes>
Autorizado mediante Resolución de Intendencia N° 0320050000852/SUNAT

INFORMACION ADICIONAL

ELABORADO POR: rchavez

ANEXO F



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



INFORME TÉCNICO N° 1411 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ
 - 1.2 D.N.I. : 43732133
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 08 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 21 / 08 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 08 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE CLAVOS DE 2"
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20.0°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPO UTILIZADO : MAQUINA DE TRACCIÓN UNIVERSAL. ZWICK ROELL Z010
8. RESULTADOS
 - 8.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (KgF)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	2,75	479	UNE EN 10002-1
2	2,78	481	
3	2,76	476	
PROMEDIO	2,76	479	

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


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI


M.Sc. Otilia Acha 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.

ANEXO G

ANEXOS

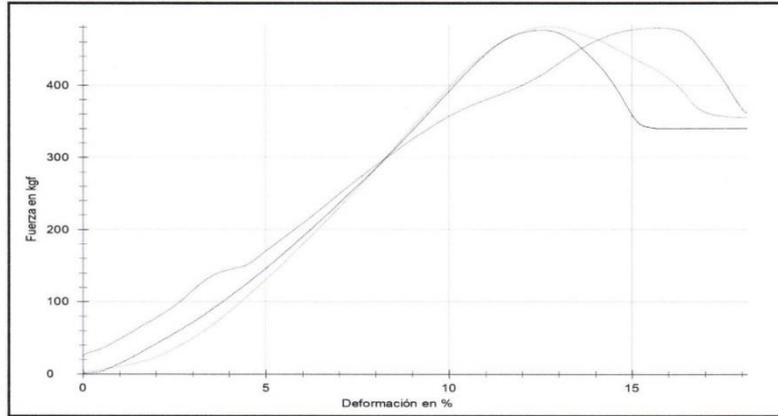


FIGURA N°1: GRÁFICA DE FUERZA (KgF) VS ELONGACIÓN (%) DE LA MUESTRA



FIGURA N°2: FOTOGRAFÍA DE LA MUESTRA EN EL EQUIPO DE TRACCIÓN UNIVERSAL

ANEXO H



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



INFORME TÉCNICO N° 1412 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ
 - 1.2 D.N.I. : 43732133
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 08 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 21 / 08 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 08 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CLAVOS DE 2 ½"
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20.0°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPO UTILIZADO : MAQUINA DE TRACCIÓN UNIVERSAL. ZWICK ROELL Z010
8. RESULTADOS
 - 8.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (KgF)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	3,38	774	UNE EN 10002-1
2	3,39	792	
3	3,38	732	
PROMEDIO	3,38	766	

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


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI


M.Sc. Otilia Acha 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.

ANEXO I

ANEXOS

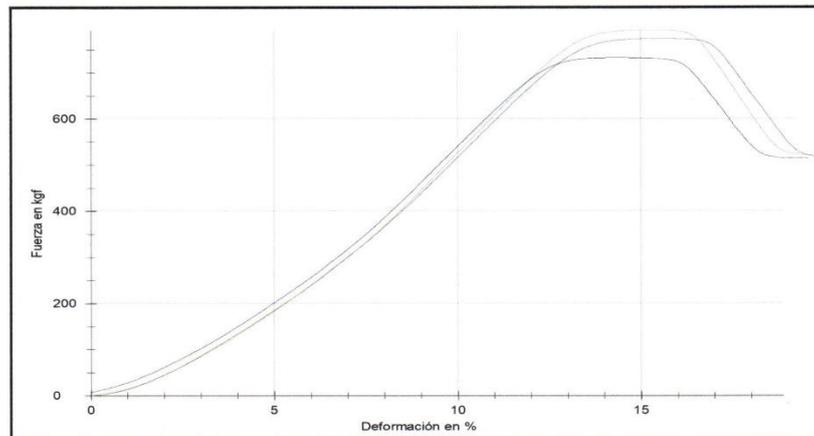


FIGURA N°1: GRÁFICA DE FUERZA (KgF) VS ELONGACIÓN (%) DE LA MUESTRA

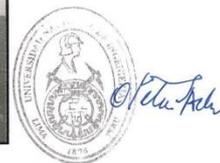


FIGURA N°2: FOTOGRAFÍA DE LA MUESTRA EN EL EQUIPO DE TRACCIÓN UNIVERSAL

ANEXO J



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



INFORME TÉCNICO N° 1413 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : YONATHAN ABAD CALSINA SANCHEZ
 - 1.2 D.N.I. : 43732133
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 08 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 21 / 08 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 08 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CLAVOS DE 3"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 20.0°C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : MAQUINA DE TRACCIÓN UNIVERSAL. ZWICK ROELL Z010
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (KgF)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	3,77	875	UNE EN 10002-1
2	3,79	916	
3	3,78	924	
PROMEDIO	3,78	905	

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


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI


M.Sc. Otilia Acha 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.

ANEXO K

ANEXOS

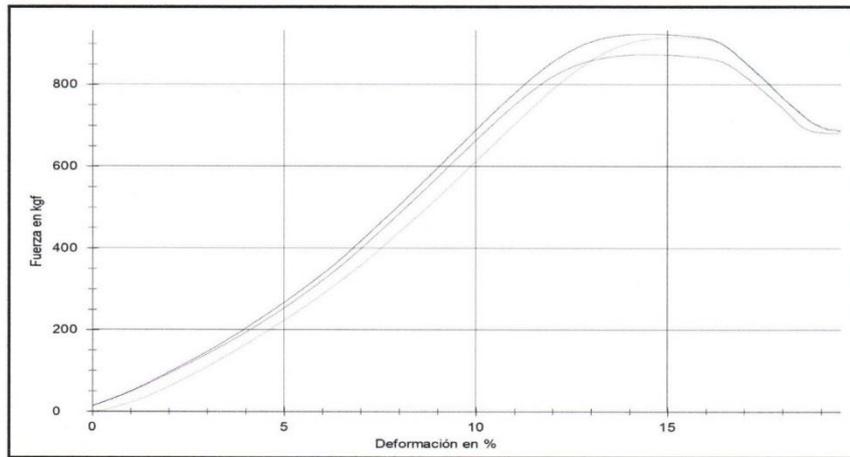


FIGURA N°1: GRÁFICA DE FUERZA (KgF) VS ELONGACIÓN (%) DE LA MUESTRA



FIGURA N°2: FOTOGRAFÍA DE LA MUESTRA EN EL EQUIPO DE TRACCIÓN UNIVERSAL