

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“UNIONES EMPERNADAS DE MADERA CUMALA CON
PERNOS DE 3/8”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

GERMÁN ALBERTO PI RÍOS

ASESOR

Mg. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA

Lima- Perú

2018

	Pag.
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE FOTOS	6
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE GRÁFICAS	8
PRESENTACIÓN	10
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	15
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	15
1.6. MARCO TEÓRICO	16
1.7. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	17
1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO	18
CAPÍTULO II: MADERA	19
2.1. GENERALIDADES	19
2.2. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA MADERA	20
2.3. TIPOS DE MADERA	23
2.4. ASERRADO DE LA MADERA	24
2.5. MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN	26
2.6. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA CUMALA	27
2.7. MANTENIMIENTO DE LA MADERA	29
2.8. EFECTOS AL EMPERNAR LA MADERA	30
2.9. LA MADERA EN EL PERU	31
2.10 DIMENSIONES COMERCIALES	33
CAPÍTULO III: PERNOS	35
3.1. DEFINICIONES	35
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PERNOS	36

3.3. DISTRIBUCIÓN DE PERNOS EN EL PERU.....	39
3.4. NORMAS QUE RIGEN LOS PERNOS ESTRUCTURALES.....	39
CAPÍTULO IV: UNIONES ESTRUCTURALES	42
4.1. SOLICITACIONES DE LAS UNIONES.....	43
4.1.1. Cizalla simple	43
4.1.2. Cizalla doble.....	43
4.1.3. Cizalla múltiple	44
4.2. TIPOS DE UNIONES ESTRUCTURALES PARA MADERA.....	44
4.2.1. UNIONES ATORNILLADAS	44
4.2.2. UNIONES CLAVADAS	45
4.2.3. UNIONES EMPERNADAS	46
CAPÍTULO V: PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS	48
5.1. ENSAYOS PRELIMINARES	48
5.1.1. MÁQUINA DE ENSAYO	50
5.1.2. RESULTADOS PRELIMINARES	51
5.1.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRELIMINARES	53
5.2. ENSAYOS REALIZADOS	55
5.2.1. ARMADO DE PROBETAS	56
5.2.2. ANÁLISIS Y GRAFICAS DE ENSAYOS	62
5.3. CÁLCULOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD.....	63
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
6.1. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL DOBLE CIZALLAMIENTO	69
6.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA E.010.....	86
6.3. PROYECCIÓN DE CARGAS ADMISIBLES PARA MAS DE 3 PERNOS	89
6.4.COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL MANUAL DE DISEÑO DEL GRUPO ANDINO	91
6.5. RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE	96
6.6. EFECTOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA RESISTENCIA DE LAS PROBETAS.....	98
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXO	107

RESUMEN

Considerando que los estudios e investigaciones de uniones estructurales con maderas cuya densidad son menores a 0.40 gr/cm^3 es muy escasa y que nuestro país tiene un gran potencial en recursos forestales cuya participación en la economía es poca o casi nula es que se decidió realizar el presente estudio: "Uniones empernadas de madera Cumala con pernos de $3/8$ ".

En el presente estudio se utilizaron listones de madera, que corresponden a la especie forestal denominada Cumala, las cuales fueron unidas con uno, dos y tres pernos. La madera Cumala tiene una densidad teórica menor a 0.40 gr/cm^3 y no pertenece a ningún grupo de acuerdo a la clasificación de las maderas en función de sus densidades básicas del Manual del Grupo Andino. Se sometieron a ensayos de cizallamiento doble, utilizando en cada serie de ensayos las siguientes variables: Relación entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro (L/D).

Se obtuvo como resultados que las cargas admisibles de los especímenes de madera Cumala son menores a las cargas presentadas en la norma E.010 para el grupo C, esto indica que efectivamente la madera Cumala debería encontrarse en una nueva clasificación. Además se observa que a un mayor contenido de humedad se tiene una menor carga admisible.

De acuerdo a los alcances del presente estudio, servirán como base para futuras investigaciones teniendo en cuenta las reglas de clasificación, el número de características naturales y de imperfecciones de manufactura que afectan la resistencia e influyen en los usos finales correspondientes a cada clase, especie y tamaño ya que cada una tiene valores de diseño asignados. Así también el desarrollo de mayores ensayos con la finalidad de visualizar tendencias con mayor precisión, utilizando diversas maderas, con la finalidad de añadirlas al sector construcción lo cual contribuye a seguir desarrollando una economía sostenible.

ABSTRACT

Considering that studies and research of structural joints with wood whose density is less than 0.40 gr / cm³ is very scarce, and that our country has a great potential in forest resources whose participation in the economy is little or almost null is that it was decided to carry out the present study: "Cumala wood with bolted joints with 3/8" bolts".

In the present study, wooden slats were used, corresponding to the forest species called Cumala. They have a theoretical density of less than 0.40 gr / cm³ and would not belong to any group according to the classification of the woods according to their basic densities of the Manual of the Andean Group, which were joined with one, two and three bolts. They were subjected to double shear tests, using in each series of tests the following variables: Ratio between the thickness of the lateral piece and the diameter (L / D).

It was obtained as a result that the allowable loads of the Cumala wood specimens are lower than the loads presented in the E.010 standard for group C, this indicates that indeed the Cumala wood should be in a new classification. It is also observed that at a higher moisture content there is a lower admissible load.

According to the scope of the present study, they will serve as a basis for future research taking into account the classification rules, the number of natural characteristics and manufacturing imperfections that affect the resistance and influence the final uses corresponding to each class, species and size since each one has assigned design values. Also the development of larger trials in order to visualize trends with greater precision, using various woods, with the aim of adding them to the construction sector, which contributes to continue developing a sustainable economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Estructura macroscópica de la madera	21
Figura 2.2 Estructura general de la madera	21
Figura 2.3 Plano de la madera	23
Figura 2.4 Tipos de corte según su orientación en el tronco	25
Figura 2.5 Formas de cubicar la madera.....	27
Figura 2.6 Broca de tres puntas	31
Figura 3.1 Perno Hexagonal de 3/8”	35
Figura 3.2 Vista isométrica del sistema Perno, Tuerca y Arandela.....	35
Figura 3.3 Partes del perno	36
Figura 3.4 Perno Hexagonal Grado 2, Zincado de 3/8" de diámetro.....	41
Figura 4.1 Uniones estructurales.....	42
Figura 4.2 Cizalla simple.....	43
Figura 4.3 Cizalla doble	44
Figura 4.4 Uniones con tornillos	45
Figura 4.5 Uniones con clavos	46

LISTA DE FOTOS

Fotografía 5.1 La madera Cumala en el establecimiento maderero.....	48
Fotografía 5.2 Empaquetado de la madera para las muestras	49
Fotografía 5.3 Probeta para los ensayos preliminares	49
Fotografía 5.4 Máquina Zwick Roell de 1000 KN.....	50
Fotografía 5.5 Probeta de madera Cumala ensayada con tres pernos.....	54
Fotografía 5.6 Deformación del perno en muestra ensayada.....	54
Fotografía 5.7 Metrado total de la madera Cumala	56
Fotografía 5.8 Madera cortada para el montaje de probetas	57
Fotografía 5.9 Empacado de la madera	57
Fotografía 5.10 Transporte de las piezas.....	58
Fotografía 5.11 Acondicionamiento de las piezas según medidas.....	58
Fotografía 5.12 Montaje de las probetas.....	59
Fotografía 5.13 Probetas armadas de un perno	59
Fotografía 5.14 Probetas finales totales y listadas (90 probetas).....	60
Fotografía 5.15 Ensayo en la máquina Zwick Roell.....	60
Fotografía 5.16 Probeta en el proceso de doble cizallamiento a compresión.....	61

Fotografía 5.17	Uso del software TestXpert del Zwick Roell	62
Fotografía 5.18	Gráfica de Carga vs deformación obtenida del TestXpert	62
Fotografía 5.19	Muestras introducidas al horno	63
Fotografía 5.20	Muestras de las probetas a las 24 horas.....	64
Fotografía 5.21	Pesado de las muestras secas	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Directorio de Proveedores de Madera Certificada.....	33
Tabla 2.2	Precio de la madera aserrada en Lima	34
Tabla 5.1	Dimensiones de las probetas preliminares	51
Tabla 5.2	Dimensiones de las probetas a ensayar	55
Tabla 6.1	Cargas para las probetas con espesor 2cm y 1 perno	70
Tabla 6.2	Cargas para las probetas con espesor 2cm y 2 pernos	73
Tabla 6.3	Cargas para las probetas con espesor 2cm y 3 pernos	76
Tabla 6.4	Cargas para las probetas con espesor 4cm y 1 perno	79
Tabla 6.5	Cargas para las probetas con espesor 4cm y 2 pernos	82
Tabla 6.6	Cargas para las probetas con espesor 4cm y 3 pernos	85
Tabla 6.7	Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 2cm.....	87
Tabla 6.8	Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 4cm.....	87
Tabla 6.9	Factores de reducción a la carga admisible en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada.....	88
Tabla 6.10	Comparación de cargas admisibles entre la madera Cumala y los distintos grupos de madera según la norma E.010 para espesor de la pieza central de 2cm.....	88
Tabla 6.11	Comparación de cargas admisibles entre la madera Cumala y los distintos grupos de madera según la norma E.010 para espesor de la pieza central de 4cm.....	88
Tabla 6.12	Cargas admisibles de acuerdo al número de pernos y espesor de la pieza central.....	89
Tabla 6.13	Proyección de cargas admisibles respecto al número de pernos para un espesor de 2cm.....	90
Tabla 6.14	Proyección de cargas admisibles respecto al número de pernos para un espesor de 4cm.....	91
Tabla 6.15	Coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano.....	92
Tabla 6.16	Factores de reducción para la obtención de cargas paralelas	93

Tabla 6.17 Comparación entre las cargas admisibles obtenidas mediante ensayos y calculadas con el manual de madera del grupo Andino	96
Tabla 6.18 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=2.1$ y un perno	96
Tabla 6.19 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=4.2$ y un perno	97

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación de las maderas en función de sus densidades básicas	26
Cuadro 5.1 Velocidad de ensayo recomendada en función de L/D	51
Cuadro 5.2 Probetas de L=2cm y un perno de 3/8"	65
Cuadro 5.3 Probetas de L=2cm y dos pernos de 3/8"	66
Cuadro 5.4 Probetas de L=2cm y tres pernos de 3/8"	66
Cuadro 5.5 Probetas de L=4cm y un perno de 3/8"	67
Cuadro 5.6 Probetas de L=4cm y dos pernos de 3/8"	67
Cuadro 5.7 Probetas de L=4cm y tres pernos de 3/8"	68

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.1 "Limite proporcional" según la NDS commentary	17
Gráfica 5.1 Esfuerzo-Deformación de la muestra de un perno	52
Gráfica 5.2 Esfuerzo-Deformación de la muestra de dos pernos.....	52
Gráfica 5.3 Esfuerzo-Deformación de la muestra de tres pernos.....	53
Gráfica 6.1 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8).....	69
Gráfica 6.2 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayos 9 al 15).....	69
Gráfica 6.3 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2cm y 1 perno.....	70
Gráfica 6.4 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayos 1 al 8)	72
Gráfica 6.5 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayos 9 al 15)	72
Gráfica 6.6 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2cm y 2 pernos.....	73
Gráfica 6.7 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayos 1 al 8)	75
Gráfica 6.8 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayos 9 al 15)	75
Gráfica 6.9 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2cm y 3 pernos.....	76
Gráfica 6.10 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 1 perno (Ensayos 1 al 8).....	78

Gráfica 6.11 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 1 perno (Ensayos 9 al 15).....	78
Gráfica 6.12 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2cm y 3 pernos...	79
Gráfica 6.13 Diagrama Carga-Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 2 pernos (Ensayos 1 al 8)	81
Gráfica 6.14 Diagrama Carga -Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 2 pernos (Ensayos 9 al 15)	81
Gráfica 6.15 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 4cm y 2 pernos...	82
Gráfica 6.16 Diagrama Carga -Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 3 pernos (Ensayos 1 al 8)	84
Gráfica 6.17 Diagrama Carga -Deformación de las probetas con espesor de 4cm y 3 pernos (Ensayos 9 al 15)	84
Gráfica 6.18 Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 4cm y 3 pernos...	85
Gráfica 6.19 Carga admisible en función al número de pernos para un espesor de 2cm	89
Gráfica 6.20 Carga admisible en función al número de pernos para un espesor de 4cm	90
Gráfica 6.21 Relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=2.1$ y $l/d=4.2$	97
Gráfica 6.22 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2cm y 1 perno.....	98
Gráfica 6.23 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2cm y 2 pernos.....	99
Gráfica 6.24 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2cm y 3 pernos.....	99
Gráfica 6.25 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 1 perno.....	100
Gráfica 6.26 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 2 pernos.....	100
Gráfica 6.27 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 3 pernos.....	101

PRESENTACIÓN

Perú alberga una cuarta parte de las selvas tropicales del planeta y sólo los bosques húmedos tropicales de la región selvática colocan al país en el segundo lugar de Latinoamérica y en el séptimo lugar del mundo en cuanto a extensión forestal. Además, los bosques peruanos contienen una impresionante población arbórea de 72 millones de hectáreas, que constituyen el 57% del territorio nacional, así como la mayor diversidad genérica existente en el planeta y representa uno de sus principales recursos naturales renovables, sea por su extensión o por su importancia económica. No solo son fuente de especies maderables, alimentos, medicinas, combustibles, etc.; sino que producen servicios ambientales como el mantenimiento de las fuentes de agua, el hábitat de la diversidad biológica, regulación del clima y captura de carbono. El escenario que presentan los bosques igualmente sirve para el turismo, recreación o la realización de importantes actividades socioculturales de sus habitantes. Los bosques son de muy diferentes tipos y calidades, tanto por su composición en especies de árboles como por sus condiciones climáticas en especial la disponibilidad de agua.

La madera es un material ortótropo, con distinta elasticidad según la dirección de deformación, encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen año tras año, formando anillos concéntricos correspondientes al diferente crecimiento de la biomasa según las estaciones.

En cuanto a la demanda interna, Lima es el principal consumidor de productos forestales elaborados con madera procedente de la amazonia peruana, es el principal centro exportador del país.

El nombre de la madera utilizada en este estudio es la denominada en el Perú como Cumala, de la especie "Virola sebífera Aubl", Familia "Myristicaceae", cuyo nombre comercial internacional es Virola, se encuentra principalmente en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, entre los 80 y 1000 msnm. Entre las características de la madera Cumala se tiene, facilidad al aserrío, la trabajabilidad es buena en el cepillado, moldurado, torneado y regular al

taladrado. Tiene buen comportamiento al secado, al aire libre seca en forma rápida, para el secado artificial requiere de un programa severo.

Las conexiones empernadas (se usó pernos de grado 2 ya que le proporcionan a las estructuras de madera mayores resistencias y por su bajo costo), son sencillas de construir. En el presente estudio donde se han sometido especímenes a cizallamiento, observaremos las ventajas y desventajas de dichas uniones y la capacidad de carga de las diferentes combinaciones de pernos y maderas en cuanto a número de pernos y espesores de las muestras de madera, así como también los precios y tipos de material de acero empleados en su fabricación.

La presente tesis tiene como finalidad dar un aporte a la ampliación de la norma del RNE E010 en la tabla 10.3.2.1: "Cargas Admisibles para uniones empernadas doble Cizallamiento", donde se puede generar un grupo D (Densidades menores a 0.40 g/cm³), ya que la madera Cumala tiene una densidad de 0.38 g/cm³. Actualmente no puede usarse para realizar un sistema estructural, se recomienda usarlo para estructuras menores ya sea casetas, o fabricaciones de módulos de viviendas provisionales, terrazas, etc.

Finalmente veremos cómo varía la resistencia de la madera Cumala respecto al contenido de humedad y su comportamiento respecto a la cantidad de pernos en la línea de la dirección de la carga dichos datos ayudarán para un correcto diseño por parte del proyectista.

De esta manera aportaremos para el diseño estructural para este tipo de maderas que no se encuentra normado siendo a su vez económicamente rentable respecto a las maderas de mejores densidades.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación vamos a ver el comportamiento de las Uniones empernadas de madera CUMALA empleando pernos de 3/8". El contenido de la presente investigación se desarrolla de la siguiente manera:

Capítulo I

Se define los antecedentes, justificación del trabajo, planteamiento del problema, definición de los objetivos a conseguir, marco teórico del tema, los resultados esperados en la presente investigación, desarrollo de la metodología de trabajo y la formulación de la hipótesis del presente tema.

Capítulo II

Se desarrolla el uso de la madera en nuestro país y otros, con necesidades similares, mostramos la estructura de la madera su composición, sus planos y distintos tipos de corte, formas y tamaños según su tipo, su correcto aserrado, mencionamos su uso en la construcción y sus propiedades físicas y mecánicas.

El capítulo III

Definición, y clasificación de pernos.

El capítulo IV

Se describe los tipos de uniones estructurales, uniones atornilladas, uniones clavadas, uniones soldadas y uniones empernadas.

El capítulo V

Se describe la máquina de ensayo a utilizar, armado de los especímenes y los ensayos preliminares con sus respectivas conclusiones y recomendaciones

El capítulo VI

Muestra de los resultados y discusión que obtuvimos y la comparación de resultados con la norma E010 del reglamento nacional de edificaciones

Finalmente se da a conocer las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos empleados en el presente trabajo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La madera es uno de los recursos naturales más antiguos que dispone el hombre, con excelentes características físicas y mecánicas, además de la cualidad de ser un recurso renovable y, por lo tanto, prácticamente inagotable siempre que las técnicas de producción sean las adecuadas.

Su utilización en la construcción ha sido continua desde la antigüedad y existe abundante bibliografía, especialmente sobre madera de bosques templados (Coníferas).

Las grandes ciudades de la antigüedad estaban formadas por viviendas familiares construidas en madera sin tratar, además que usaban leña para cocinar y calentarse, hacía que los incendios fueran muy frecuentes lo que causo que la madera poco a poco dejara de usarse como material de construcción y empleará el adoquín como material más favorable. Al pasar el tiempo, y gracias a los tratamientos a los que se somete la madera, ha recuperado su buena fama como material fiable de construcción.

Sobre la madera de bosques tropicales uno de los estudios más amplios fue el realizado el Acuerdo de Cartagena, cuyos resultados se utilizan para la elaboración de la Norma Peruana de Madera RNE E010

Entre los estudios realizados para obtener las propiedades físicas de la madera Cumala tenemos; densidad básica, contracción tangencial, contracción radial, contracción volumétrica.

Sobre las propiedades mecánicas de la madera Cumala se han realizado ensayos para determinar el módulo de elasticidad en flexión, módulo de rotura en flexión, compresión paralela, compresión perpendicular, corte paralelo a las fibras, dureza en los lados y tenacidad (resistencia al impacto).

A pesar de los resultados ya mencionados de la madera Cumala carece de información sobre su comportamiento sobre uniones emperradas y que es muy importante para el diseño, motivo de la presente tesis

Sobre uniones empernadas se han encontrado varias tesis profesionales como por ejemplo “Uniones empernadas de la madera tornillo” publicado en el año 1969, con resultados de ensayos de uniones con cargas paralelas y perpendiculares a la fibra.

En el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE-010 Madera, en la tabla 10.3.2.1 de Cargas Admisibles para Uniones Empernadas de Doble Cizallamiento se incluye información para las maderas con densidad entre 0.40 g/cm^3 y 0.70 g/cm^3 , y no se consideran maderas con densidades menores a 0.40 g/cm^3 , como es el caso de la Cumala.

1.2 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los estudios realizados, la Cumala podría utilizarse en elementos estructurales, para lo cual se requiere contar las características de los diferentes sistemas de uniones, entre ellos las uniones empernadas.

Ya que la madera Cumala tiene una densidad cercana al grupo C según la clasificación de la madera en la norma E010 del RNE en el cuadro 5.2.1 y a su vez tiene un costo menor a las maderas estructurales comerciales es una buena opción para poder realizar diseños estructurales.

En la rama de la construcción, las conexiones empernadas son apropiadas para la unión de estructuras de madera teniendo un bajo costo y a su vez la ejecución del sistema no es complejo; la presente tesis estará orientada a demostrar que se puede aplicar para maderas de baja densidad que no estén incluidas en la norma como es el caso de la madera Cumala con densidad de 0.38 gr/cm^3 .

Para ello se conoce del elemento metálico sus características físicas y químicas, luego mediante los ensayos obtenemos las propiedades mecánicas de las muestras de las uniones empernadas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No existe información suficiente sobre uniones empernadas con madera de densidades menores de 0.40 gr/cm^3 para su utilización en la construcción.

Ya que la madera Cumala representa un alto porcentaje con respecto a la cantidad de maderas comercializadas y de uso estructural y a su vez se encuentra ya normadas en el RNE, se considera importante conocer sus propiedades mecánicas para su uso estructural.

Su uso para la construcción no es necesario invertir fuertes cantidades de dinero ya que su costo es bajo respecto a otras maderas más comercializadas, de esta manera se convertiría en un material altamente competitivo.

Por otro lado se tiene que la madera Cumala por su densidad no se encuentra normada en el RNE E010 y por lo tanto, hay cierto recelo para realizar diseños de estructuras de madera.

1.4 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Evaluar la resistencia que presentan las uniones empernadas en la madera Cumala (*Dyalianthera* sp) empleando pernos de 3/8".

Objetivo específicos:

- Llevar a cabo ensayos de las uniones empernadas utilizando madera Cumala a doble cizallamiento empernadas entre si usando pernos de 3/8"
- Verificar la separación entre pernos recomendada en la norma, para uniones de este tipo, con la madera Cumala.
- Proyectar la resistencia admisible para más de 3 pernos de las uniones empernadas con madera Cumala a doble cizallamiento, con pernos de 3/8".

1.5 RESULTADOS ESPERADOS

Al término de la presente investigación se pretende definir valores que indiquen el comportamiento de las uniones empernadas en madera Cumala (densidad 0.38gr/cm³) utilizando pernos de 3/8 y así ampliar el conocimiento sobre este tipo de uniones y su posterior uso en el sector construcción.

1.6 MARCO TEÓRICO

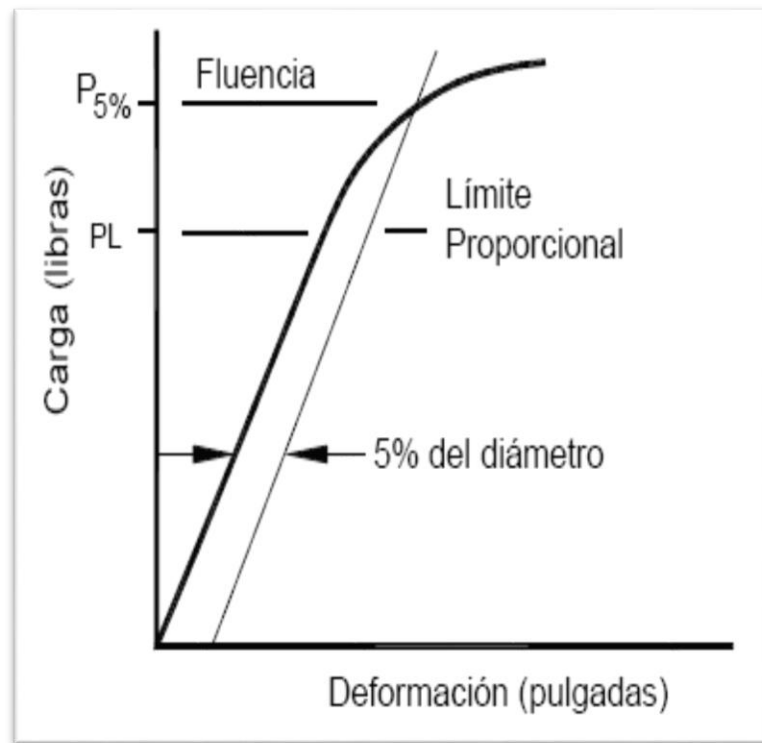
Hoy en día la madera tiene diversos usos en la construcción, como en cubiertas planas de una o más aguas formadas por faldones o planos, también se usan en entresijos, y con cerchas que puede ser planos o curvas.

Estructuralmente la madera es usada en vigas y correas, ya sea en entresijos o cubiertas. El uso de una especie de baja densidad estaría principalmente entramados y viguetas, las uniones más frecuentes serían clavadas, pero en algunos casos deberían usarse pernos de pequeño diámetro.

Es importante tomar en cuenta la separación ideal de los pernos uno a otros en las uniones emperradas. Es por eso que el trabajo a realizar será determinar dichos parámetros para identificar su correcta disposición para cada clase de unión a realizar madera – madera, platina – madera y otras combinaciones a realizar.

Los pernos más delgados son más eficientes, es decir, son aquellos para las que la razón resistencia / volumen es mayor. Sin embargo a menor diámetro el número de pernos necesario es mayor, siendo más difícil satisfacer los requisitos de espaciamiento entre ellos según la norma.

Para el ensayo de Doble Cizallamiento con carga paralela a la fibra, se sigue con la teoría de que un material es perfectamente elástico y obedece a la ley de Hooke. Esto se puede decir de elementos que no están sometidos a cargas muy grandes. El borde de este comportamiento en una gráfica esfuerzo – deformación, es denominado “Límite Proporcional”. Según la NDS Commentary – American Forest Paper Association, el Límite Proporcional se ubica al 5% del diámetro del perno, con una línea paralela a la parte proporcional de deformación.



Gráfica 1.1- Límite Proporcional Fuente: NDS Commentary – American Forest & Paper Association

1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La resistencia de las uniones empernadas con la madera Cumala (que tiene una densidad aproximada de 0.38gr/cm³) es adecuada para la construcción de componentes estructurales de edificaciones de viviendas o similares a pesar de tener una densidad baja.

A pesar que no se encuentra normada, su densidad es muy cercana al grupo C 0.40gr/cm³ y se puede realizar ensayos para obtener cargas admisibles aceptables para uniones empernadas y considerarlo para estructuras de obras menores.

1.8 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo la presente investigación, se procederá a ensayar la madera Cumala a compresión, doble cizallamiento en paralelo; con maderas de 2cm y 4cm de espesor, las maderas laterales serán de espesor igual a la mitad del espesor de la madera central, con esta disposición se espera lograr obtener los respectivos datos de laboratorio.

Para ello se empleara de 1 a 3 pernos de 3/8" de diámetro con una carga paralela a la fibra de la madera utilizada.

Teniendo en total 06 combinaciones de ensayos.

1. El primer tipo de ensayo fue la unión con un solo perno 3/8" y un espesor Ensayado de 2cm.
2. El segundo tipo de ensayo fue la unión con un solo perno 3/8" y un espesor ensayado de 4cm.
3. El tercer tipo de ensayo fue la unión con dos pernos 3/8" y un espesor ensayado de 2cm.
4. El cuarto tipo de ensayo fue la unión con dos pernos 3/8" y un espesor ensayado de 4cm.
5. El quinto tipo de ensayo fue la unión con tres pernos 3/8" y un espesor ensayado de 2cm.
6. Finalmente el sexto tipo de ensayo fue la unión con tres pernos 3/8" y un espesor ensayado de 4cm.

Por cada tipo de grupo se realizaron 15 pruebas en laboratorio. El número de pruebas de laboratorio a realizado en total fue de 90.

CAPÍTULO II: MADERA

2.1 GENERALIDADES.

La madera se encuentra constituida por células longitudinales y transversales, las células longitudinales se extienden desde la raíz hasta la copa y las células transversales desde la médula hasta la corteza del árbol, teniendo funciones diferentes en el desempeño en el árbol. (Delgado, 1981)

La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción de viviendas, herramientas para cazar y supervivencia, fabricación de utensilios para su alimentación, etc. y actualmente el hombre lo sigue utilizando en diferentes funciones siendo aún válidas. Pocos materiales poseen la capacidad de evocación de la madera (Keenan, 1987).

En el neolítico; antes de que el hombre contara con herramientas con suficiente capacidad de corte como para trabajar la madera (una herramienta con suficiente capacidad de corte no tiene que ser nada más complicado que un hacha de piedra, por ejemplo) es muy probable que ya empleara la madera como material de construcción de sus primeros refugios (Hansen, 1948).

En aquellos lugares donde los refugios o abrigos naturales no le proporcionaban la seguridad suficiente, el hombre comenzó a fabricarse chozas. Probablemente, uno de los primeros materiales utilizados para ello, si no el primero, serían las ramas de madera seca que recolectaría del suelo, junto con las ramas que podía desgajar por la fuerza, de los árboles. Andando el tiempo, las hachas y cuchillos de piedra afilada le permitirían cortar troncos, cada vez más gruesos, y desbastarlos hasta conseguir un material de construcción cada vez más sólido. (Hansen, 1948).

El Perú cuenta con 71 millones de hectáreas de bosques tropicales, ocupando el segundo lugar en América Latina detrás de Brasil.

Aun cuando la madera es un recurso abundante en el Perú, la industria forestal no se ha desarrollado sosteniblemente, debido a la limitación del número de especies utilizadas comparado al número total de especies (2500) aptas para su comercialización, los inventarios forestales realizados en el Perú han registrado menos de 600 especies de madera.

La comercialización de la madera en el Perú consiste en dos etapas. En primer lugar, entre el bosque y la industria (rollizos); y, en segundo lugar, entre la industria y el consumidor, por lo que entre ambas etapas el precio de la madera sufre descontrolados aumentos en su valor económico (SERFOR, 2016).

Las maderas provenientes de las especies de los bosques tropicales son denominadas genéricamente maderas tropicales. Estas especies, conocidas también con el nombre de latifoliadas o frondosas, se diferencian tanto externa como internamente de las maderas coníferas que, en general, crecen en climas templados. En la subregión existen, en limitada proporción algunas especies de coníferas de bosques naturales y otras de zonas reforestadas. Sin embargo, son las especies tropicales las que representan el volumen importante.

Una de las diferencias existentes entre maderas de coníferas y latifoliadas, que constituye una característica notoria en el comportamiento mecánico, es aquella relacionada con la resistencia y rigidez (Delgado, 1981).

De manera general puede afirmarse que, a igual densidad, las maderas latifoliadas de los bosques tropicales muestran mayor resistencia que las maderas coníferas. Las características de elasticidad son similares o en algunos casos mayores. En ensayos de vigas a escala natural se observan deformaciones importantes antes de que se produzca la falla; si se descarga el espécimen durante el ensayo se recupera casi toda la deformación.

2.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA MADERA

El Tronco: es un árbol maduro, la sección transversal del tronco presenta las siguientes partes (Espinal et al, 2005):

- a) Corteza exterior. Es la capa más exterior del tronco, que protege a la planta de las agresiones externas. La corteza está compuesta de células muertas.
- b) Corteza interior. Película o tejido muy delgado que transporta los nutrientes elaborados mediante la fotosíntesis, es decir transporta la savia.
- c) Cambium. Células de reproducción. Es donde se empieza a crear la madera.
- d) La albura. Es la parte exterior del xilema, cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas; es de color claro y de espesor variable según las especies. La albura es la parte activa del xilema.

e) El duramen. Es la zona que rodea a la médula. Es de color oscuro y está constituido por células muertas lignificadas que le dan mayor resistencia al ataque de hongos e insectos. Su proporción depende de la especie y de la edad del árbol.

f) La médula. Se encuentra ubicada, generalmente, en la parte central del tronco. Está constituida por células débiles o muertas, a veces de consistencia corchosa. Su diámetro varía entre menos de un milímetro, hasta más de un centímetro, según la especie.

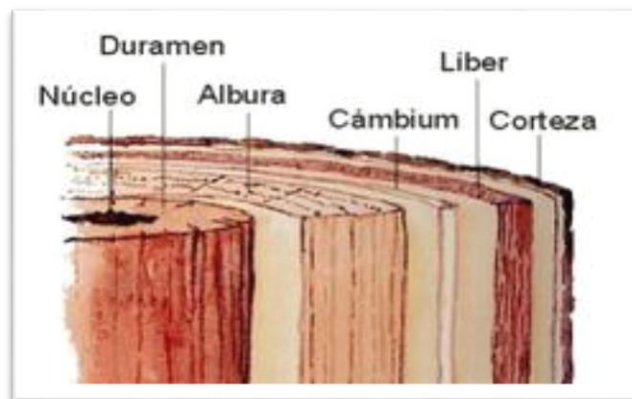


Figura Nº 2.1: Estructura macroscópica de la madera.
Fuente: Dirección general de Aduanas de la República dominicana.

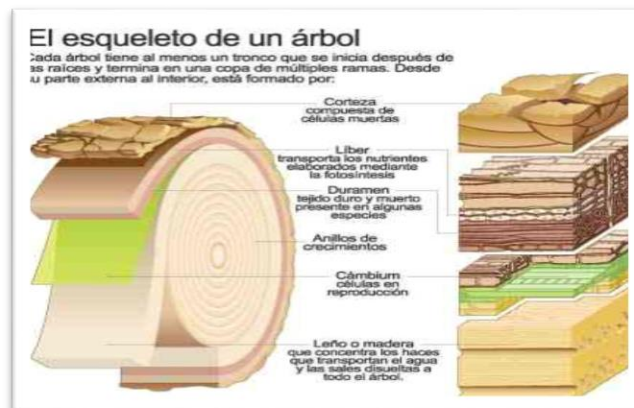


Figura Nº 2.2: Estructura general de la madera.
Fuente: Tecnología de la madera Sites.google

Los componentes principales de la madera son la celulosa, un polisacárido que constituye alrededor de la mitad del material total; la lignina (aproximadamente un 25 %), que es un polímero resultante de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos y que proporciona dureza y protección; y la hemicelulosa (alrededor de un 25 %), cuya función es actuar como unión de

las fibras. Existen otros componentes minoritarios como resinas, ceras, grasas y otras sustancias (Quiñones, 2016).

En lo referente a la composición química de las maderas, al igual que cualquier sustancia de origen natural orgánico, estas están formadas por carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (0.2%) principalmente, además de otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio o calcio (Quiñones, 2016).

Según las funciones que desempeñan en el árbol, la madera está constituida por células longitudinales y transversales de distintas características. Una célula longitudinal se extiende desde las raíces a la copa, mientras que una transversal apunta desde la médula a la corteza del árbol.

La parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas que son las siguientes: conducción del agua, almacenamiento de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para cumplir con estas funciones en la madera se distinguen tres tipos de tejidos: tejido vascular (de conducción), tejido parenquimático (de almacenamiento) y tejido fibroso (de resistencia) (Monteoliva et al, 2002)

Todas aquellas células alargadas y de paredes engrosadas se llaman elementos prosenquimáticos, las cuales están principalmente relacionadas con la conducción y la resistencia mecánica; en cambio, se llaman elementos parenquimáticos a aquellas células cortas y de paredes relativamente delgadas que tienen la función de almacenamiento y distribución de las sustancias de reserva.

En el tronco existen dos grandes sistemas de elementos xilemáticos. El sistema longitudinal, formado por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras o traqueidas) y elementos parenquimáticos; y el sistema transversal, constituido principalmente por elementos parenquimáticos (Espinal et al, 2005).

Las secciones, llamados planos de corte de la madera, describen los elementos leñosos de la madera. Aquellas secciones son: Sección transversal: es la sección o cara perpendicular al eje del tronco. Sección longitudinal: es la sección o superficie paralela al eje del tronco, que a su vez puede ser: Radial: resultante de un corte longitudinal paralelo a los radios, desde la corteza hasta la médula. Tangencial: si el plano de corte sigue una dirección perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento. La descripción anatómica de la madera se realiza con el fin de elaborar claves para la identificación, a base de la estructura

observada en cortes de tipo transversal, radial y tangencial. La descripción anatómica de la madera puede hacer a nivel macroscópico o microscópico (Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, 1984)

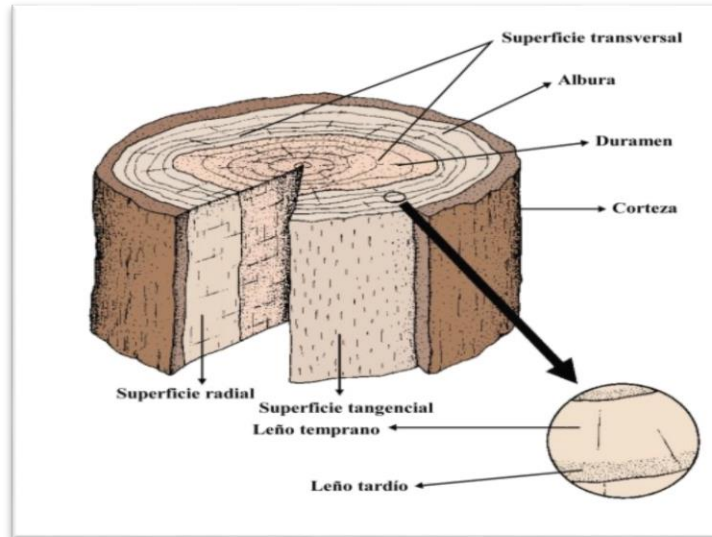


Figura N° 2.3: Plano de la madera.
Fuente: Arqhys Arquitectura Sites.google

2.3 TIPOS DE MADERA

Una de las más importantes formas de clasificación de las maderas es el de sus propiedades, las cuales están en función de su estructura, es decir, de su textura, la cual dependerá a su vez del modo de crecimiento del árbol (González 2007).

Se presenta una descripción de las maderas latifoliadas y coníferas, en cuanto a su estructura anatómica (González 2007).

Maderas Coníferas. - La madera tiene una estructura anatómica homogénea, y está constituida por células leñosas; estas forman del 80% al 90% del volumen total de la madera y tienen la función de resistencia y conducción. Asimismo, presenta células de parénquima en menor proporción.

Maderas Latifoliadas. - La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, constituida por diferentes células leñosas, tales como: los vasos o poros que tienen la función de conducción del agua y sales minerales. Estas células forman del 6% al 50% del volumen total de la madera, siendo este porcentaje mayor en las maderas blandas y porosas. También existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica y que forman el 50% o más del volumen de la

madera; a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y por lo tanto mayor resistencia mecánica.

En función del modo de crecimiento, las maderas se dividen en (Acuña et al, 2006):

Maderas resinosas. Suelen ser maderas de lento crecimiento, propias de zonas frías o templadas. Poseen buenas características para ser trabajadas y buena resistencia mecánica. Este tipo de maderas son las más usadas en carpintería y en construcción. Algunas de las más conocidas son: el pino, el abeto o el alerce, por ejemplo.

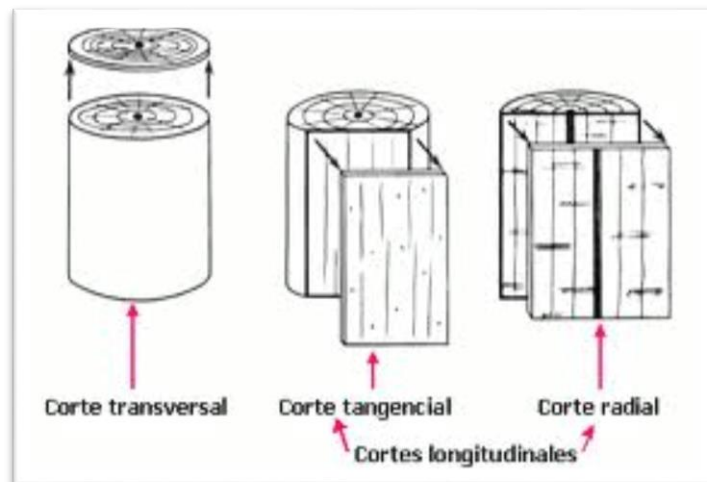
Maderas frondosas. Son maderas propias de zonas templadas. Podemos diferenciarlas mediante tres grupos: duras, blandas y finas. Dentro de las duras tenemos el roble, la encina, el haya, etc. Dentro de las blandas tenemos el castaño, el abedul o el chopo, entre otras. Por último, dentro de las finas encontramos el nogal, el cerezo, el manzano, el olivo y otros árboles frutales.

- *Maderas blandas.* Las maderas provenientes de árboles de crecimiento rápido presentan anillos de crecimiento anchos y son blandas.
- *Maderas duras.* Las maderas provenientes de árboles de crecimiento lento presentan anillos muy estrechos que proporcionan una especial dureza.
- *Maderas finas o exóticas.* Son las mejores maderas y las que permiten mejores acabados. Dentro de este grupo tenemos la caoba, el ébano, la teka, el palisandro y el palo rosa, entre otras muchas.

2.4 ASERRADO DE LA MADERA

Luego de su extracción del bosque, es el primer procesamiento al que se somete un tronco. Esto se realiza mediante sierras de cinta o con sierras circulares de grandes dimensiones para la obtención de piezas de madera de grandes dimensiones (Tuset & Duran, 1986).

La madera puede cortarse del tronco de tres maneras distintas: tangente a los anillos de crecimiento, obteniéndose la que se llama madera de “corte tangencial”; perpendicularmente a los anillos, es decir, siguiendo la dirección de los radios o de los radios de las circunferencias definidas por los anillos, obteniéndose madera de “corte radial”; y siguiendo una dirección en arco en la madera de “corte transversal”. (Tuset & Duran, 1986).



**Figura N° 2.4: Tipos de corte según su orientación en el tronco.
Fuente: Tuset & Duran, 1986**

De acuerdo a la figura N° 2.4, el corte transversal puede poseer un uso estructural según el reglamento nacional de edificaciones RNE E010 en el punto 2.3 - Madera Rolliza de uso estructural – el cual no hace mención a realizar uniones de maderas usando este tipo de cortes, puede ser usado utilizando los procedimientos de diseño y los esfuerzos admisibles indicados en la norma sin realizar algún tipo de uniones estructurales.

Para el caso de cortes longitudinales, según el reglamento nacional de edificaciones RNE E010, en el punto 2.4 - Madera laminada Encolada - lo definen como madera laminada al material estructural obtenido de la unión de tablas entre sí, con el grano esencialmente paralelo al eje del elemento y que funciona como una sola unidad.

Por lo tanto, se puede aseverar que las maderas con cortes longitudinales se pueden usar en uniones empernadas, para que funcionen como una sola unidad. Entre este tipo de cortes se tiene el de corte tangencial y el de corte radial, siendo el que trabaja mejor el de corte tangencial, ya que en el corte radial se posee una fibra central que es muy débil y podría ocasionar alguna falla estructural.

2.5 MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los diversos tipos de construcciones a base de madera deben distinguirse en dos categorías de material.

En primer lugar, la madera de construcción estructural donde se encuentra todo aquel elemento que sea empleado con fines resistentes, principalmente el usado para entramados de muros, techos, pisos elevados, columnas, pórticos y otros que constituyen la estructura de una edificación.

Mientras que en la otra categoría se encuentran la madera de construcción no estructural, la cual es utilizada para revestimientos, puertas ventanas, muebles, que no están destinados a resistir cargas importantes.

Según La Junta del Acuerdo de Cartagena, se convino en una clasificación de maderas estructurales en las cuales se denominan A al grupo de maderas de mayor resistencia cuyo rango está entre 0.71 a 0.90, B al grupo intermedio con un rango de 0.56 a 0.70 y C al grupo de menor resistencia, de 0.40 a 0.55, en kg/cm³.

GRUPO	DENSIDADES BASICAS
A	0.71 – 0.90
B	0.56 – 0.70
C	0.40 – 0.55

Cuadro N° 2.1: Clasificación de la madera en función a sus densidades básicas. Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena

La madera Cumala, por su baja densidad, no se encuentra en la clasificación de la Junta del Acuerdo de Cartagena, por lo que se apreció conveniente generar un nuevo grupo de la madera en función a sus densidades básicas que sería el grupo D que serían para maderas con densidades menores a 0.40 kg/cm³

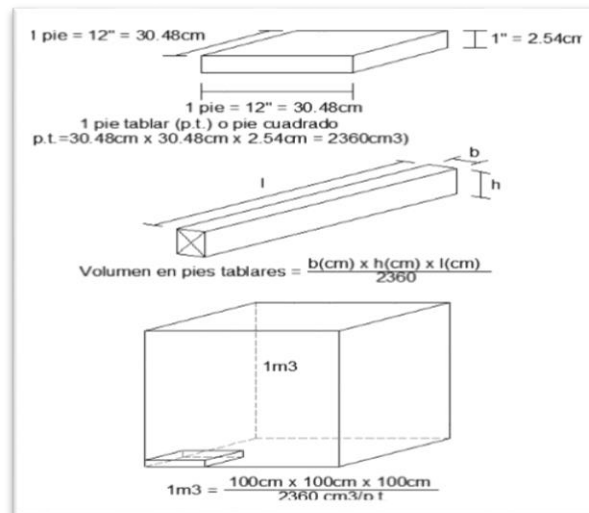


Figura N° 2.5: Formas de cubicar la madera
Fuente: Manual de diseño para maderas del grupo andino

2.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA CUMALA

- ESPECIE. Virola sebífera
- FAMILIA. Myristicaceae.
- NOMBRES COMUNES. Cumala roja, Aguanillo, Cumala de altura.
- NOMBRE CIENTIFICO. Dyalianthera sp.
- NOMBRE COMERCIAL INTERNACIONAL. Virola
- ORIGEN. Tropical
- CARACTERISITICAS DE LA MADERA.
- Color rosado a marrón claro
- Olor No distintivo.
- Sabor No distintivo.
- Lustre o brillo moderado.
- Grano Recto.
- Textura Media.
- Brillo alto.
- Vetado poco pronunciado.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS.

- La Cumala es una madera medianamente pesada, que presenta contracciones lineales bajas y contracción volumétrica moderadamente estable. Para la resistencia mecánica, esta se sitúa en el límite de la categoría media - baja (Pinchi Reategui, 2016).

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA CUMALA

- **Densidad básica.** Es el cociente entre el peso anhidro de una muestra y su volumen verde y saturado, para la Cumala su valor es de 0.38 gr/cm³.
- **Contracción tangencial.** Se produce en las direcciones tangentes a los anillos de la madera para la madera Cumala es de 9.87%.
- **Contracción radial.** La contracción perpendicular a las fibras, a través de los anillos de la madera Cumala es de 4.45%
- **Contracción volumétrica** de la madera Cumala debido a la diferencia volumétrica entre los estados de saturación y anhidro es de 13.40%
- **Relación T/R.** La relación entre el aumento tangencial y el aumento radial de la madera Cumala es 2.30.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA CUMALA

- Módulo de elasticidad en flexión 110 000 kg/cm²
- Módulo de rotura en flexión 491.00 kg/cm²
- Compresión paralela (RM) 244.00kg/cm²
- Compresión perpendicular (ELP) 35.00 kg/cm²
- Corte paralelo a las fibras 52.00 kg/cm²
- Dureza en los lados 269.kg/cm²
- Tenacidad (resistencia al choque) 1.10 kgf-m

CARACTERÍSTICAS DE PROCESAMIENTO Y USO

- Comportamiento al secado Natural muy bueno
- Comportamiento al secado Artificial muy bueno
- Durabilidad natural media-baja

- Trabajabilidad excelente

Su uso, actualmente, es no estructural, como por ejemplo en mueblería, decoración de interiores, puertas, marcos de puertas, ventanas, enchape decorativo, molduras, entre otras. Con la presente tesis, se quiere incorporar a que sea una madera de uso estructural.

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

- La baja resistencia mecánica de la madera facilita el aserrío; trabajabilidad es buena en el cepillado, moldurado, torneado y regular al taladrado.
- Presenta baja durabilidad y es susceptible al ataque biológico, por lo que se recomienda su preservación (Pinchi Reategui, 2016).

2.7 MATENIMIENTO DE LA MADERA

El mantenimiento de estructuras en madera, en general, representa una inversión relevante tanto por los costos. Sin embargo, y de acuerdo con la realidad del país, normalmente existe desconocimiento del tema y no son destinados suficientes recursos como para asegurar su eficacia. La vida útil de una estructura de madera está determinada por el comportamiento de cada uno de los elementos que la componen, por eso el comportamiento defectuoso abreviará la vida útil. Muchos de los materiales usados requieren ser reemplazados durante la vida útil de la estructura. Ejemplo de ello son las piezas de madera por falta de mantenimiento.

La atención periódica de los requerimientos del mantenimiento representa beneficios tangibles y de diverso tipo, tales como mantener el valor de la estructura de madera, aumentar su vida útil, realzar la imagen corporativa, identificar y rectificar problemas menores antes de que se conviertan en graves, que involucren costos de solución más elevados.

Por el contrario, las consecuencias de no atender las necesidades de mantenimiento son, entre otras, el desgaste prematuro o acelerado de los materiales de la edificación.

Según la norma: “Reglamento Nacional de Edificaciones” en el punto 9.3.1.3, los pernos empleados en nudos, uniones o apoyos, deberán estar adecuadamente

protegidos contra la corrosión debida a la humedad del ambiente o a las sustancias corrosivas que pueda tener la madera.

Se presenta el siguiente caso:

- Daño durante la fijación en la protección contra la corrosión
- Capa de pintura de protección muy delgada sobre la fijación
- Inadecuada introducción y sellado inadecuado

La solución para este problema es colocar con un pincel cuidadosamente. Sobre la cabeza del perno, un decapador químico que elimine la corrosión; luego, retocar con pintura rica en zinc y pintar de nuevo con al menos 02 capas; finalmente, sellar los orificios con masilla acrílica especial para madera.

Por otro lado, si se encuentra signo de insectos en la madera por estar este sin tratamiento, se debe reemplazar la madera afectada. Para evitar el ataque de insectos es necesario barnizar o pintar, ya que ayudará a prevenir mayores infecciones.

2.8 EFECTOS AL EMPERNAR LA MADERA

Cuando se perfora con taladro eléctrico, como es en el caso de la presente tesis, es fundamental ajustar la velocidad de la herramienta. Trabajar a un ritmo que supera el necesario puede tener efectos negativos en la madera: la broca se calienta en exceso y la madera termina por ennegrecerse. La velocidad se regula en función de las dimensiones de la broca. Si tiene 30 mm de diámetro, basta con una velocidad de rotación de 150 vueltas/minuto, mientras que si las dimensiones son inferiores el taladro debe trabajar, al menos, a 500 vueltas/minuto. Cuando el orificio es de una profundidad considerable, es recomendable sacar la broca cada cierto tiempo para retirar el serrín depositado en ella. De esta manera, se optimiza el rendimiento de la herramienta.

Por otro lado, existe muchos tipos de brocas, pero el utilizar la broca adecuada es muy importante, no solo para que el trabajo sea más fácil y con mejor resultado, sino incluso para que pueda hacerse.

Existen muchas calidades para un determinado tipo de broca, según el método de fabricación y el material del que esté hecha. La calidad de la broca influirá en el resultado y precisión del taladro y en la duración de la misma. Por lo tanto, es aconsejable utilizar siempre brocas de calidad. Para la madera Cumala, la broca de tres puntas es la más recomendable.

BROCA DE TRES PUNTAS PARA MADERA

Son las más utilizadas para taladrar madera y suelen estar hechas de acero al cromo vanadio. Existen con diferentes filos, pero no hay grandes diferencias en cuanto a rendimiento. En la cabeza compone de tres puntas, la central, para centrar perfectamente la broca, y las de los lados que son las que van cortando el material dejando un orificio perfecto. Se utilizan para todo tipo de maderas: duras y blandas.



Figura Nº 2.6: Broca de tres puntas

Un problema común es el astillamiento de la madera en taladros pasantes a la salida de los mismos. Este astillamiento es más pronunciado en maderas de baja densidad, como es el caso de la Cumala.

Lo primero para minimizar este problema, es utilizar la broca bien afilada y adecuada al material que estemos taladrando. En madera, se debe utilizar una broca de tres puntas. Esta broca compone de tres puntas para cortar primero el círculo exterior del taladro, y así evitar precisamente el rompimiento de la madera. Se minimiza el problema utilizando otra madera inservible a modo de sufridera que se pone debajo de la madera a taladrar.

2.9 LA MADERA EN EL PERU

Sector que se ocupa de la producción de madera para la construcción (tablas, tablones, vigas y planchas), para la fabricación de postes de telégrafo, barcos, travesaños de ferrocarril, contrachapados, muebles y ebanistería. Los principales países productores de madera son Estados Unidos, Rusia, Canadá, Japón, Suecia, Alemania, Polonia, Francia, Finlandia y Brasil. Muchas variedades de madera son muy apreciadas, como la caoba, el ébano o el palo de rosa, que se

producen en países tropicales de Asia, Sudamérica y África y se emplean sobre todo en la fabricación de muebles.

El mercado nacional. - En Perú existen más de 2.500 especies forestales, de las cuales alrededor de 250 han sido estudiadas para fines industriales. El comercio nacional de maderas se limita a apenas 120 especies maderables, de las cuales sólo 20 han sido debidamente estudiadas e identificadas, por lo que un elevado porcentaje de las maderas que se comercializan ingresan al mercado como maderas corrientes o robles.

Entre las especies que tienen valor comercial a escala industrial, así como una mayor demanda, destacan la caoba, el cedro, el tornillo, el ishpingo, la catahua, copaiba, la cumala y la moena como maderas de múltiples usos, y la lupuna en la industria triplayera. La heterogeneidad de los bosques tropicales obliga, pues, al desarrollo de una estrategia integral que permita elevar el valor agregado generado por la industria maderera y llevar el actual aprovechamiento forestal de 6 metros cúbicos por hectárea a su aprovechamiento potencial de 40 metros cúbicos por hectárea.

Como parte de esta estrategia se está intensificando el uso del bosque al incorporar 30 especies maderables menos conocidas al mercado de maderas con excelentes resultados, destacando entre aquéllas las siguientes: capirona, pumaquiro, congora (machinga), shihuahuaco, aguano masha, andiroba, cachimbo. Algunas de estas maderas son incluso excelentes substitutos de maderas finas como la caoba y el cedro.

Las últimas investigaciones realizadas Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), mientras el consumo de madera per cápita promedio en Iberoamérica asciende a 1,63 metros cúbicos anuales, en Perú es sólo de 0,6 metros cúbicos anuales, es decir, uno de los más bajos del continente. Esto se explica en parte por el deficiente consumo de madera en el sector de la construcción, aunque el consumo de madera se ha visto recientemente incrementado con la mayor difusión de la casa de tipo mixto (ladrillo-madera).

2.10 DIMENSIONES COMERCIALES

En todas las construcciones es necesario saber que madera se ha de emplear, y para eso existe variedad de grosores y denominaciones de las piezas de madera en el comercio.

En vigas cuadradas. - Sirven para andamiajes y estructuras para construcciones y miden una longitud de 7 a 12m, con una sección de 15x20 a 35x35cm

Viguetas. - Se emplea para tarimas techos y pequeñas estructuras, tienen un grueso entre 8 y 14cm con una longitud comprendida entre 3 y 5m.

Cerco. – Su nombre nace por la utilización que se le ha dado en corrales para animales, caballerizas, etc. Tienen un espesor entre 7 y 10 cm, por lo mismo de ancho y su longitud de 3m

Listones. – Son usados armasones de techos y tienen dimensiones entre 3.5 y 5 cm de grueso, 4.5 y 6.5cm de ancho y su máxima longitud es de 8m

Tipo de certificación	Razón social	Ciudad	Distrito	Provincia	Departamento
Certificación de manejo forestal FSC	Aserradero Espinoza S.A.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Forestal Otorongo S.A.C.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Madera Canales Tahuamanu S.A.C.	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	Maderera Río Yaverija S.A.C. - MADERYJA	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	Maderera Río Acre S.A.C. - MADERACRE	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	AMATEC	Lima	Lima	Lima	Lima
	MADERERA PAUJIL S.A.C.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Wood Tropical Forest S.A.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER	Lima/Pucallpa	Lima/callería	Lima/Coronel Portillo	Lima/Ucayali
	Ambiente y Desarrollo de las Comunidades	Lima	Lima	Lima	Lima
	Comunidad Nativa Bélgica	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	AQUAMAR INVESTMENTS INC S.A.C.	Pucallpa	Calleria	Coronel Portillo	Ucayali
	Comunidad Nativa Puerto Esperanza	Atalaya	Raimondy	Atalaya	Ucayali
	E y J Matthei Exotic Timber SRL	Pucallpa	Calleria	Coronel Portillo	Ucayali
Certificación de cadena de custodia FSC	Aserradero Espinoza S.A. (Almacenes Lima)	Barrio el Artesano	Lurin	Lima	Lima
	Corporación Forestal Claudita S.A.C.	Villa el Salvador	Villa el Salvador	Lima	Lima
	Forestal Río Piedras S.A.C.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Maderera Río Acre S.A.C.	Iñapari	Tahuamanu	Tahuamanu	Madre de Dios
	Maderera Río Yaverija S.A.C. (MADERYJA)	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	NATURE WOOD PERU S.A.C.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios
	Maderera Río Acre S.A.C. (MADERACRE)	Iñapari	Iñapari	Tahuamanu	Madre de Dios
	DEUNO DESIGNS	Lima	Lima	Lima	Lima
	BOZOVICH USA - Alabama - Bozovich Timber Products Inc. (BTP)	Lima	Lima	Lima	Lima
	BOZOVICH MEXICO - Bozovich S.R.L. de C.V. (BZM)	Lima	Lima	Lima	Lima
	Maderera Bozovich S.A.C.				Lima
	Maderera Río Acre S.A.C.				Madre de Dios
	E & J Matthei Maderas del Perú S.A	Lima			Lima
	NATURE WOOD PERU S.A.C.	Puerto Maldonado			Madre de Dios
	Triplay Amazónico S.A.C.	Pucallpa	Calleria	Coronel Portillo	Ucayali
	UNIVERSAL FLOORING SAC	Lima			Lima
	Forestal Río Piedras S.A.C				Madre de Dios
	Maderas Peruanas S.A.C. (Mapesac)	Pucallpa	Calleria	Coronel Portillo	Ucayali
	Aserradero Espinoza S.A. (Almacenes)	Lima			Lima
	Corporación Forestal Claudita S.A.C.	Lima			Lima
	Centro de Transformación e Innovación Tecnológica Indígena (CITEINDIGENA)	Pucallpa	Calleria	Coronel Portillo	Ucayali
	PERUVIAN FLOORING S.A.C.	Lima			Lima
	MADERAS PUERTAS Y EMBALAJES S.A.C.	Lima			Lima
PACIFIC WOOD S.A.C.	Lima			Lima	
Certificación de madera controlada	Inversiones Forestales Chullachaqui S.A.C.	Puerto Maldonado	Tambopata	Tambopata	Madre de Dios

Tabla Nº 2.1: Directorio de Proveedores de Madera Certificada
Fuente: Cámara Nacional Forestal

PRECIOS ACTUALES.

Madera aserrada larga comercial - Lima, enero 2016		
Especie	Nombre científico	Precio* (S./pt)
Cachimbo	Lecythidaceae	2,90 - 3,80
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	12,50
Caobilla		2,80
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	3,40 - 4,20
Catahua	<i>Hura crepitans</i>	2,10 - 2,20
Cedro	<i>Cedrela sp.</i>	5,90
Congona	<i>Brosimum sp.</i>	4,20
Copaiba	<i>Copaifera sp.</i>	3,80 - 4,00
Cumala	Myristicaceae	2,20 - 3,60
Cumala (seca al horno)	Myristicaceae	2,80
Huayruro	<i>Ormosia sp.</i>	4,20 - 5,20
Moena	Lauraceae	4,20 - 5,50
Panguana		2,80
Pino	<i>Pinus sp.</i>	1,80 - 2,20
Pino chileno	<i>Pinus sp.</i>	2,70
Pumaquiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	6,50 - 6,80
Roble	Varias especies	2,10 - 2,50
Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	4,60 - 5,20

*No incluye IGV

Madera paquetería corta - Lima, enero 2016		
Especie	Nombre científico	Precio* (S./pt)
Caobilla		2,50
Copaiba	<i>Copaifera sp.</i>	1,00
Cumala	Myristicaceae	0,90
Yacushapana	<i>Terminalia sp.</i>	1,00

*No incluye IGV

Tabla N° 2.2: Precio de la madera aserrada en Lima
Fuente: Cámara Nacional Forestal

CAPÍTULO III: PERNOS.

3.1 DEFINICIONES.

Es una pieza metálica que puede tener diferentes largos. Es un elemento de unión. Básicamente este elemento metálico con cabeza pasa por perforaciones que permiten unir y fijar cosas. Normalmente son fabricados de acero o hierro que en nuestro caso son mayores a la dureza de la madera Cumala; es por ello, que la falla es más por este último, material. Está relacionada con el tornillo, pero tiene un extremo de cabeza redonda, una parte lisa, y otro extremo roscado para la chaveta, tuerca, o remache, y se usa para sujetar piezas en una estructura, por lo general de gran volumen. Un espárrago, en cambio, es un perno sin cabeza, roscado en sus dos extremos.

Tienen diferentes tipos de cabezas según sus usos, hexagonales, redondas, avellanadas entre otras. Las medidas de un perno pueden ser métricas o en pulgadas. (Álvarez & Martitegui, 2003. Estructuras de madera: diseño y calculo).

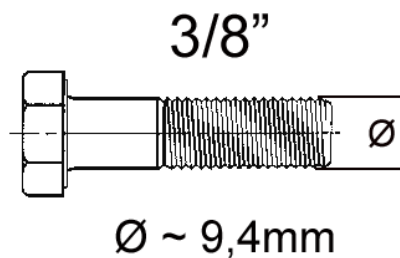


Figura Nº 3.1 Perno Hexagonal de 3/8" (Fuente: Álvarez & Martitegui, 2003)



Figura Nº 3.2 Vista Isométrica del sistema Perno, Tuerca y Arandela.
(Fuente: Arqhys Arquitectura Sites.google)

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERNOS.

Se clasifican según la forma de la cabeza, por la forma de las roscas, por su sistema de sujeción, por el tipo de material o por el tamaño (Álvarez & Martitegui, 2003. Estructuras de madera: diseño y calculo).

- Sistema de Sujeción: Es decir de la manera con la que cuentan para sujetar piezas y superficies, o maquinaria, y en este sentido se distingue según sea permanente o removibles
- Por el tipo de material: por lo general son de acero, ya que presentan gran resistencia para grandes solicitaciones. Los pernos trabajan con o para diferentes tipos de esfuerzos, este debe de presentar una resistencia según su uso. De igual manera sus tuercas, éstas son diseñadas según su uso y por lo general de un material menos resistente que el perno.
- Por la forma de la cabeza: Puede ser redondeada, cuadrada, o asimétrica. Frecuentemente es de tipo hexagonal (se atornilla sobre la cabeza de la biela, y tiene que ser enroscado en toda su longitud).
- Por el tamaño: Existen diferentes dimensiones, medidos en pulgadas generalmente, de 6mm en adelante



Figura Nº 3.3
Partes del Perno. (Fuente: Plásticos Nou Tac Sites.google)

Profundidad de las roscas: conocidas como altura del filete, matemáticamente es la semidiferencia entre los diámetros exterior e interior así mismo la separación entre cresta y valle.

Diámetro nominal: Es el que sirve para identificar la rosca y suele ser siempre el diámetro mayor de la rosca exterior, medidos normalmente en mm.

En el mercado nacional existe una variedad de pernos similares al perno utilizado en los ensayos de la presente tesis, las cuales varía desde geometría hasta su resistencia, mencionando los siguientes:

- **Perno Hexagonal**, de tipo estructural cumple con las diferentes normas como las siguientes ASTM A307 GRADO A, B y C. ASTM A 325 Tipo I y III, ASTM A 490, DIN /ISO clase 5.8, 8.8, 10.8, SAE grado 2, grado 5, grado 8. tiene sus dimensiones en milímetros y en pulgadas.
A continuación, se muestra el Perno Hexagonal Grado 2 (RC-RF)

- ✓ Diámetro: 1/4" a 1 1/4"
- ✓ Longitud: 1/2" a 25"
- ✓ Calidad: Grado 2
- ✓ Material: Acero Mediano al Carbono
- ✓ Acabado: Negro



- **Perno de tensión controlada**, ASTM A 325 TC. Formado por perno, tuerca hexagonal y arandela plana. Compuesto por material de acero medio carbono con tratamiento térmico. Se emplea en uniones estructurales exigidas mecánicamente. Fácil montaje y evita su reutilización.

A continuación, mencionamos alguna de sus características:

- ✓ Descripción: Se suministra como conjunto formado por perno, tuerca hexagonal, arandela
- ✓ Material: Acero Medio Carbono con tratamiento térmico
- ✓ Recubrimiento: Fosfatizado y Aceitado
- ✓ Uso: Para uniones estructurales exigidas mecánicamente facilitando su montaje y evitando su reutilización



- **Perno de coche**, Perno de cabeza circular u hongo, con superficie de apoyo plano y cuello cuadrado para evitar la rotación.

A continuación, se muestra el Perno Cabeza Coche RC

- ✓ Diámetro: 1/4" a 5/8"
- ✓ Longitud: 3/8" a 10"
- ✓ Calidad: Grado 2
- ✓ Material: Acero Mediano al Carbono
- ✓ Acabado: Negro - Zincado
- ✓ Uso: Carrocería, galpones, pallets y en construcciones de madera en general



- **Perno con cabeza pan**, Cabeza de tornillo o perno que posee una ranura que permite ser manipulada con un destornillador de cabeza plana.

A continuación, se muestra el Perno con Cabeza Pan STB

- ✓ Diámetro: 1/4" a 1"
- ✓ Acabado: Zincado
- ✓ Carga Puntual: 38.7 – 23.2 kg/mm²



- **Perno con cabeza combinada**, Cabeza de tornillo o perno que posee dos ranuras que permiten ser manipulada con un destornillador de cabeza estrella.

A continuación, se muestra el Perno con Ranura Combinada STB

- ✓ Diámetro: 1/4" a 1"
- ✓ Acabado: Zincado
- ✓ Carga Puntual: 38.7 – 23.2 kg/mm²
- ✓ Esfuerzo de Rotura: 45.5 – 38.7 kg/mm²



3.3 DISTRIBUIDORES DE PERNOS EN EL PERU.

- **IMDICO SA.**
Av. Bausate meza 560. La Victoria-Lima
- **IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA VILCANOTA S.A**
Av. Mariscal nieta 185-199 urb. El pino. San Luis
- **DISTRIBUIDORA DE PERNOS ROAM E.I.R.L**
Av. Los héroes 365. San juan de Miraflores-lima
- **PERNOSUR SAC**
Av. De Los Héroes 347. San Juan de Miraflores
- **CODIPER (PERNOS Y TUERCAS)**
Jr. Los Diamantes 413. Balconcillo. La Victoria-Lima
- **SODIMAC CONSTRUCTOR**
Av. Tacna 644 lima
C.C La Marina open plaza av. La Marina 2355.
Av. Tomas Marsano 1303
- **MAESTRO CONSTRUCTOR**
Av. Colonial 769. Cercado de lima
Av. Alfredo Mendiola 5118 los olivos - lima.
Panamericana norte con tomas valle – lima.
Cruce av. Angamos con av. Republica de panamá – lima
Av. Universitaria con av. La mar (al frente del C.C plaza san miguel).
Lima.
- **PROMART (HOMECENTER)**
Av. La molina cdra. 3, ate – lima
Av. Alfredo Mendiola 7026, san Martin de Porres C.C Real plaza pro.
Av. Guardia civil 927 urb. La campiña, chorrillos C.C real plaza chorrillos
Carretera central km 10.5 santa clara ate C.C real plaza santa clara.

3.4 NORMAS QUE RIGEN LOS PERNOS ESTRUCTURALES.

Conocer las características de los pernos utilizados en el sistema estructural es importante para poder realizar los cálculos de dichas uniones empernadas, a su vez de conocer las respectivas normas internacionales que rigen a los pernos estructurales

A continuación, mencionamos las normas más importantes que rigen a los pernos estructurales:

ASTM : American Society for Testing and Materials.

ISO : International Organization for Standardization.

SAE : Society of Automotive Engineers.

DIN : Deutsches Institut für Normung.

Las normas mencionadas demuestran que el uso de perno, tuerca y arandela es un sistema eficaz que mediante ensayos y cálculos realizados se mostraron que es un sistema adecuado, es por eso que este sistema lo usaremos en la presente tesis

La norma ASTM A325 y A490 son pernos de alta resistencia, ambos son tratados al calor se diferencia en su esfuerzo de fluencia que dependerá a su vez del diámetro, Los pernos A325 clasifica a los pernos en grupo o tipo I, II y III. El tipo I acero al carbono, templado y revenido, el tipo II acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido (Fuera del mercado), tipo III Acero recubierto templado y revenido, por otro lado, el perno ASTM A490 es de un acero de baja aleación y templado, tiene propiedades mecánicas más altas que el A325. Sus tuercas también están bajo la normativa ASTM A563 grado C para el perno A325, mientras que las tuercas ASTM A563 grado DH es la recomendada a usarse con los pernos A490. Al igual que los pernos existen tuercas tipo 1 y 3. (Vinnakota 2006).

Los pernos bajo la normativa ASTM A307 son hechos de acero de baja resistencia, y son los pernos más baratos, sin embargo, producen las conexiones más costosas porque se requerirán muchos más para una conexión particular. Su uso principal es en estructuras livianas, secundarias, miembros de arriostramientos u otros, en la norma SAE J429 se presentan en grado 1 o 2 y en la norma ASTM A307 y se presenta en 3 grados (grado A, B y C) donde el perno grado A tiene una resistencia de 60 KPSI mientras que el perno grado B tiene una resistencia que varía desde los 60 a 100 KPSI

Las tuercas compatibles con este perno son especificadas de acuerdo con la norma ASTM A563 Grado A y las arandelas planas también tipo A. Por lo tanto, es conveniente y suficiente usar los pernos ASTM A307 Grado A.



Figura N° 3.4
Perno Hexagonal Grado 2, Zincado de 3/8" de diámetro.

Las arandelas tienen la función de proteger la superficie exterior del material para evitar el desgaste del material consecuencia del giro de la tuerca al momento de la colocación del perno, como también optimizar la fuerza de sujeción en la instalación del perno y para proporcionar superficies de dureza consistentes, (Vinnakota 2006).

Las arandelas se encuentran normados bajo el ASTM F436.










SAE	DIN / ISO	ASTM
 <p>SAE GRADO 2 Acero de Bajo Carbono</p>	 <p>DIN Clase 5.8 Acero de Bajo Carbono</p>	 <p>A 394 Tipo 0</p>
 <p>SAE GRADO 5 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>	 <p>DIN Clase 8.8 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>	 <p>A 325 Tipo 1 Acero de Medio Carbono Tratado Térmicamente</p>
 <p>SAE GRADO 8 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado Térmicamente</p>	 <p>DIN Clase 10.8 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado Térmicamente</p>	 <p>A 495 Tipo 1 Acero de Medio Carbono Aleado Tratado Térmicamente</p>

Figura N° 3.4 Equivalencias de normas internacionales usadas para identificar el grado de dureza de los pernos.

En resumen, se han utilizado pernos hexagonales fabricados en acero de bajo contenido en carbono y sin tratamiento térmico. Perno grado A bajo la norma ASTM A307 aceros de baja resistencia (60KPSI).

CAPÍTULO IV: UNIONES ESTRUCTURALES

Podemos encontrar diferentes sistemas de uniones en estructuras de madera. Una de las partes más singulares son sus uniones, es un aspecto crítico y complejo que requiere un acertado diseño y una correcta ejecución. Las uniones tienen el objetivo de dar continuidad a los esfuerzos generados en la estructura de la forma menos agresiva.

En las construcciones con madera, las uniones o juntas constituyen una de las partes donde se debe ser cuidadoso en el diseño y fabricación. Normalmente, se emplean clavos, tirafones, pernos, placas metálicas u otros (Echavarría, 2007).

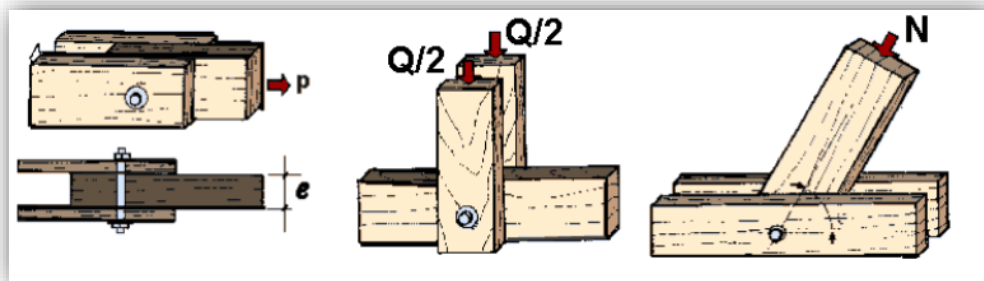


Figura N° 4.1
Uniones estructurales.
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones 2014

De la figura N° 4.1 la imagen de la izquierda corresponde a uniones emperradas a doble cizallamiento sometidas a cargas paralelas al grano de la madera en todos los elementos, las otras 2 restantes son de uniones emperradas con sometidas a cargas perpendiculares al grano de la madera respecto a el elemento principal.

Las uniones con doble cizallamiento sometidos a cargas paralelas al grano son ampliamente usados en tijerales teniendo en cuenta que la brida inferior se trabaja a tracción y en la brida superior se trabaja a compresión.

4.1 SOLICITACIONES EN LAS UNIONES

En los elementos de madera empernada se encuentran presente distintos tipos de cizallamiento (simple, doble y múltiple cizallamiento). El cizallamiento es un fenómeno originado por fuerzas iguales y opuestas que tienden a causar el desplazamiento de una pieza del elemento sobre la otra.

4.1.1 Cizalla simple

Este tipo de cizalladura está presente en la unión de dos piezas de madera y los elementos de fijación que atraviesan dichas piezas. Esta fijación atraviesa solo un plano de falla del elemento empernado.

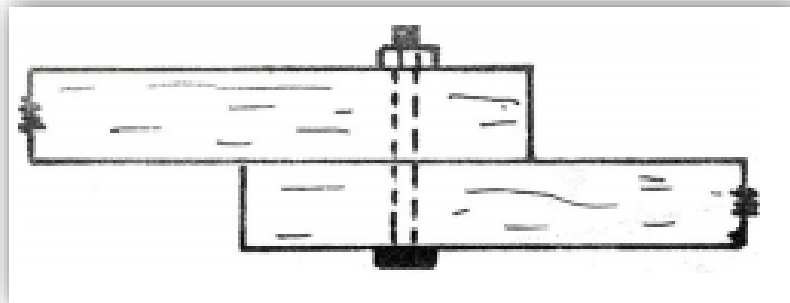


Figura N° 4.2
Cizalla simple

4.1.2 Cizalla doble

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

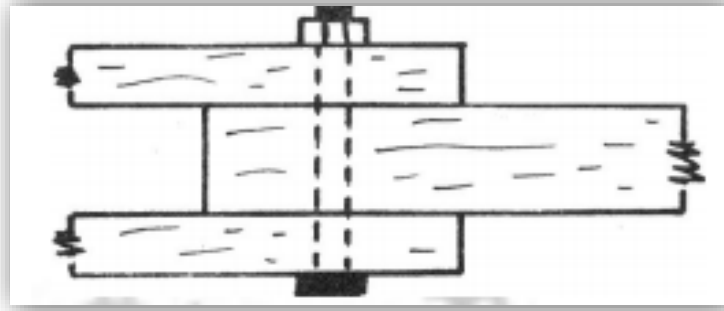


Figura Nº 4.3
Cizalla doble

4.1.3 Cizalla múltiple

Este tipo de cizalladura se encuentra presente cuando hay dos o más planos de falla en el elemento emperrado. En este tipo de cizallamiento es necesario considerar el pandeo del elemento de fijación, ya que si es muy largo este puede terminar doblándose bajo el efecto de pequeñas fuerzas. Por lo general el esfuerzo admisible para este tipo de uniones es igual a la cantidad de planos de cizalla presentes multiplicado por el esfuerzo admisible de uniones a cizalla simple.

4.2 TIPOS DE UNIONES ESTRUCTURALES PARA MADERA

El Perú cuenta con el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que, también, tiene un capítulo referente a estas uniones. Este manual presenta recomendaciones aplicables a uniones emperradas de dos o más elementos de madera, o entre un elemento de madera y platinas metálicas. Las uniones emperradas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales A, B y C, pero pueden ser eficientes también con maderas de menor densidad que las del grupo C (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2014)

4.2.1 Uniones Atornilladas

Este tipo de uniones se realizan empleando como elemento de fijación al tornillo, siendo este muy práctico y económico por lo que es ampliamente utilizado, El tornillo es usado con la finalidad de neutralizar las fuerzas de arranque orientadas dependiendo de la dirección del vástago. El desempeño de los tornillos es en su gran mayoría superior al de los clavos corrientes ya sea para

transmitir cargas menores en uniones. Los tornillos según su tipo de cabeza pueden ser planos, redondos u ovals. Así también pueden ser diferenciados por tipo de hilo, punta, etc. (Figura N° 4.4)

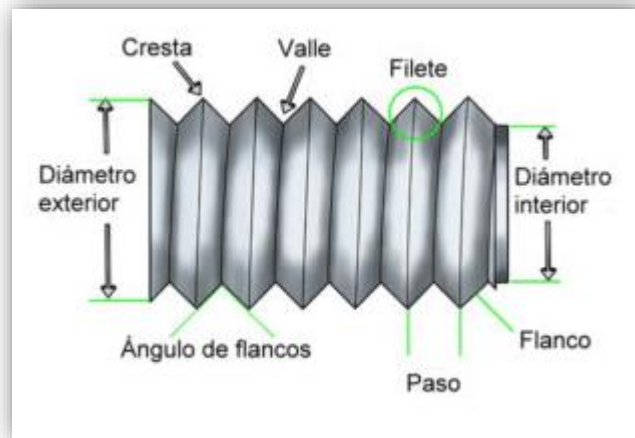


Figura N° 4.4 Uniones con tornillo.
Fuente: Parker et al, 1972

4.2.2 Uniones Clavadas

Uno de los elementos de fijación de simple y de fácil aplicación son los clavos. Estos son ampliamente usados debido a su facilidad para transmitir esfuerzos de un elemento a otro en la estructura donde este es colocado. Su fácil y simple modo de aplicación los convierte en un práctico y económico elemento de fijación. La pequeña área transversal que los caracteriza le otorga que el esfuerzo capaz de transmitir el clavo esté condicionado a la concentración de tensiones que produce la cizalladura en la madera y que está tienda a rajarla en el lugar donde actúa el elemento de fijación.

Para proceder con el clavado, estos se deben de colocar alternando su posición tal como se presenta en la figura N°4.5, desplazándolos en un diámetro de clavo, con respecto al gramil.

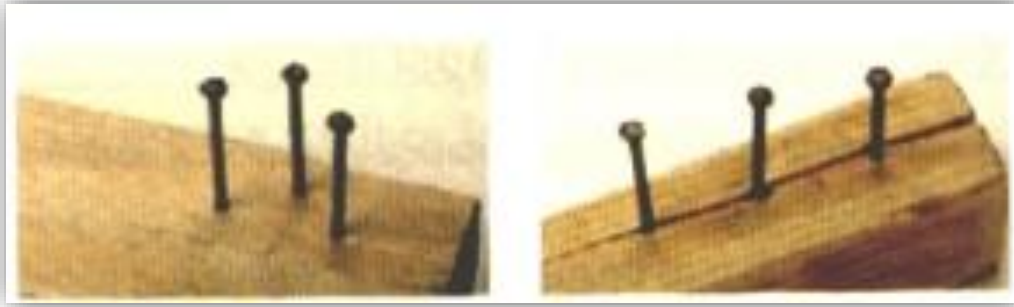


Figura N° 4.5 Uniones con clavos. (Disposición de clavado).

Fuente: Centeno, 1983

4.2.3 Uniones empernadas

En previos estudios sobre las uniones empernadas realizadas por la Junta de Acuerdo de Cartagena, se determinó sobre las uniones empernadas lo siguiente:

- Es de suma importancia el ajuste de los pernos con torquímetros, con la finalidad de obtener una presión y ajuste homogéneo en cada perno.
- Tratar en lo posible que el porcentaje de humedad entre los elementos que conforman la unión sean lo más uniformes posibles. Ya sea que éstos estén secos por debajo del 20%, o húmedos por encima del 30% para cada elemento que conforma la unión empernada.

Estas normas son aplicables para las uniones empernadas de dos a más elementos a base de madera, a uniones de elementos de madera empleando platinas metálicas. Las uniones empernadas se utilizan por lo general cuando el requerimiento sobre una conexión es relativamente grande, siendo necesario el uso de pernos, usualmente utilizando platinas de acero en las uniones.

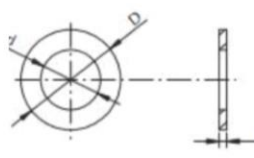
Este tipo de uniones es particularmente eficiente cuando se es aplicado en maderas. En el caso que se usen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de tal manera que queden alineados con sus respectivos agujeros en las piezas de madera. Se recomienda la utilización de una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera con la finalidad de evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos. Las arandelas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen de manera directa sobre una placa de acero (Echavarría, 2007). Se recomienda que las perforaciones para los pernos se ejecuten con un diámetro que permita una fácil colocación


según Tabla N° 4.1, sin desgarrar las paredes de la perforación y sin producir astillamientos en el extremo.

Ø de los tornillos	Ø de perforación
2 a 3	4
2,5 a 4	5
3,5 a 5	6
4,5 a 6	8
6 a 8	10
8 a 10	12
10 a 12	14
12 a 14	16
14 a 16	20

Tabla N° 4.1 Mayoración de los diámetros de las perforaciones respecto al diámetro del perno, en mm (NSR-10 título G, 2010)

En toda unión emperrada que carezca de platinas laterales de acero se deberán utilizar arandelas entre la madera y la cabeza del perno y entre la madera y la tuerca, como se muestra en la Tabla N° 4.2.





ARANDELA DIN 125 TIPO A

CINCADA				
d	D	e	MEDIDA	PRECIO
3,2	7	0,5	M.3	✓
4,3	9	0,8	M.4	✓
5,3	10	1	M.5	✓
6,4	12,5	1,6	M.6	✓
7,4	14	1,6	M.7	✓
8,4	17	1,6	M.8	✓
10,5	21	2	M.10	✓
13	24	2,5	M.12	✓
15	28	2,5	M.14	✓
17	30	3	M.16	✓
19	34	3	M.18	✓
21	37	3	M.20	✓
23	39	3	M.22	✓
25	44	4	M.24	✓
31	56	4	M.30	✓

Tabla N° 4.2 Dimensiones mínimas de arandelas para uniones emperradas estructurales. (NSR-10 título G, 2010)

CAPÍTULO V: PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

5.1 ENSAYOS PRELIMINARES

Para este trabajo de investigación, se utilizó el tipo de madera Cumala, la cual tiene una densidad de 0.38 gr/cm^3 . Su procedencia a la capital es de la región Ucayali, encontrándola en la zona maderera en distrito de Los Olivos, específicamente en la intersección de Av. Alisos y Av. Universitaria.

Se planteó ejecutar 03 ensayos preliminares de doble cizallamiento.

- Una probeta conformada por tres piezas de $10 \times 30 \text{ cm}$, de las cuales dos son piezas laterales de 1 cm de espesor y la pieza central es de 2 cm de espesor, utilizando 1 perno de $1/4''$.
- Una probeta conformada por tres piezas de $10 \times 30 \text{ cm}$, de las cuales dos son piezas laterales de 1 cm de espesor y la pieza central es de 2 cm de espesor, utilizando 2 pernos de $1/4''$.
- Una probeta conformada por tres piezas de $10 \times 30 \text{ cm}$, de las cuales dos son piezas laterales de 1 cm de espesor y la pieza central es de 2 cm de espesor, utilizando 3 pernos de $1/4''$.

Así, verificar que se realicen de manera correcta, como también realizar mejoras convenientes luego de analizar los resultados para los ensayos posteriores.



Fotografía N° 5.1- La madera Cumala en el establecimiento maderero.



Fotografía N° 5.2- Empaquetado de la madera para las muestras.



Fotografía N° 5.3- Probeta para los ensayos preliminares

5.1.1 Máquina de ensayo

El equipo utilizado para estos ensayos preliminares fue el Zwick Roell, máquina de ensayo de materiales Alemana que va desde 0.2 KN hasta los 2500 KN, a disposición de los ensayos para nuestras muestras tenemos una de 1000 KN instalada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Zwick es proveedor líder mundial de máquinas de ensayo de materiales, razón por la cual son adquiridas por empresas e instituciones como la UNI, donde se cuenta con dicha maquina desde el año 2012.

Además de los ensayos estándar (compresión, tracción y flexión), con los equipos de ensayos de materiales de Zwick, también se pueden ejecutar ensayos con cargas combinadas tales como ensayos de torsión y tracción biaxial.



Fotografía N° 5.4- Maquina Zwick Roell de 1000 KN

La siguiente tabla muestra las variables estudiadas para los tres tipos de ensayos realizados. Por lo cual considerando que serán 3 las muestras a analizar, se obtendrán 3 gráficas, una para cada muestra. En cada una de estas

gráficas, se revisará la tendencia de cada variable en función a la carga, para las tres situaciones distintas (se cotejará las gráficas obtenidas de acuerdo al número de pernos).

Las muestras tienen una relación L/D igual a 4, ya que L que representa el espesor de la muestra (tiene 1" de espesor aproximadamente) y el perno muestreado es de 1/4".

De acuerdo al manual de la Revista Forestal del Perú por medio de la norma ITINTEC No.251.010, para una relación L/D igual a 4 se tiene una velocidad de ensayo de 15.404mm/minuto, elegido según el cuadro N° 5.1:

Cuadro N° 5.1: Velocidad de ensayo recomendada en función de L/D.

Fuente: ASTM D1761.

L/D	Velocidad
	(mm/minuto)
2	10.922
4	15.404
8	22.098

Para realizar el ensayo se instaló el software de Zwick Roell y comandado a través de una laptop, se procedió a ensayar las tres muestras mientras observamos los resultados en tiempo real.

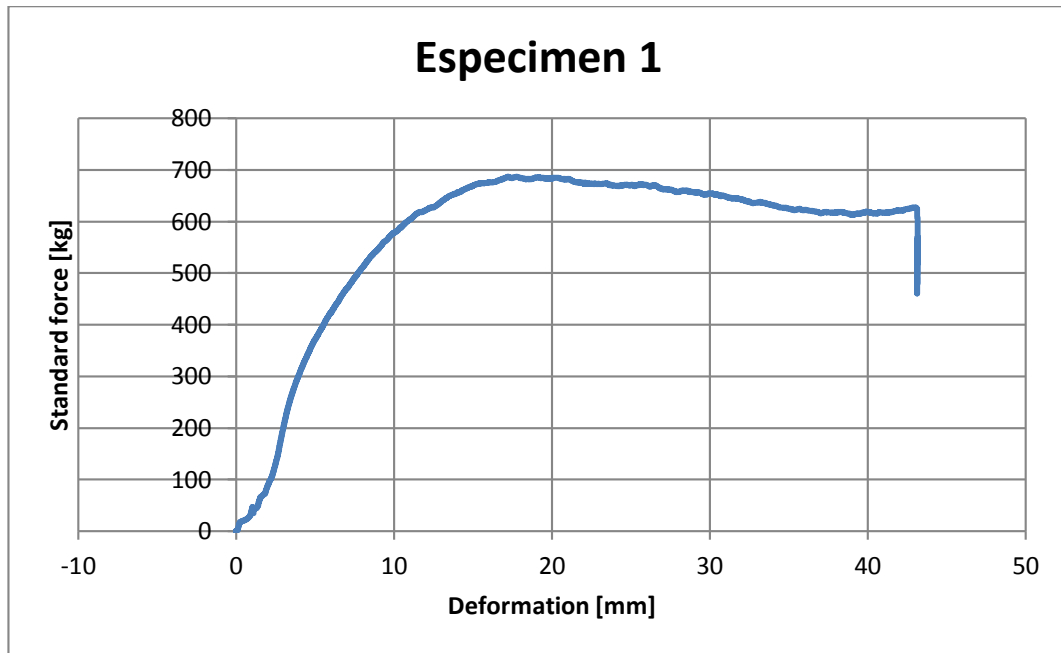
Tabla N° 5.1 Dimensiones de las probetas preliminares.

	Longitud del Perno (pulg)	Diámetro del Perno (pulg)	Espesor pieza principal (cm)	Espesor pieza lateral o secundaria (cm)	L/D
Ensayo 1	2 1/2	1/4	2.00	1.00	3.14
Ensayo 2	2 1/2	1/4	2.00	1.00	3.14
Ensayo 3	2 1/2	1/4	2.00	1.00	3.14

5.1.2 RESULTADOS PRELIMINARES

Luego de terminar los ensayos preliminares, importamos la graficas carga vs deformación desde el software del Zwick Roell hacia el programa Excel y tenemos los siguientes comportamientos:

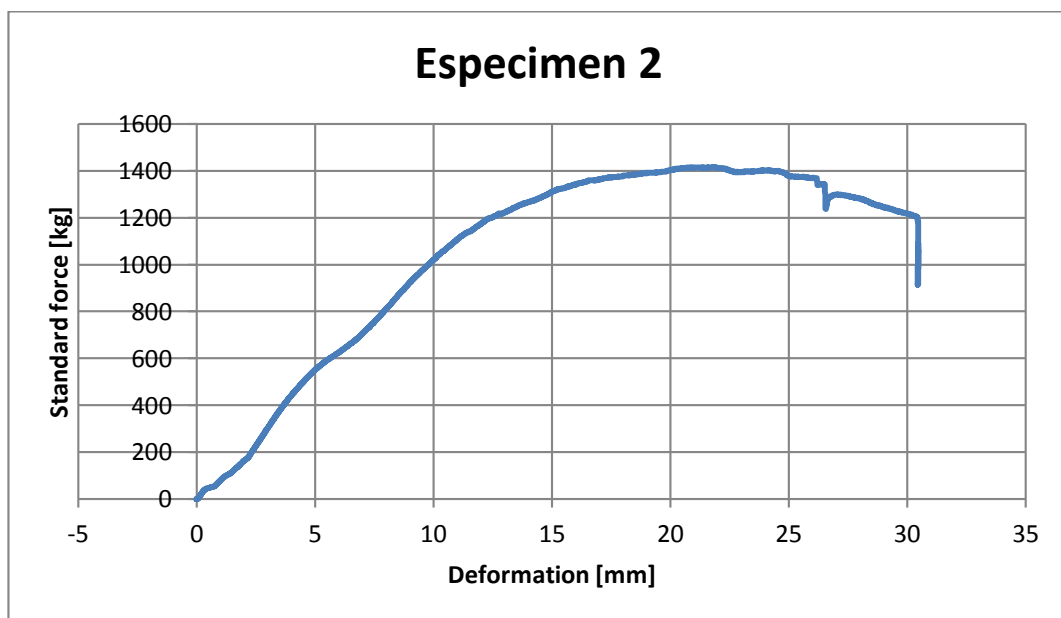
Para un perno



Gráfica N° 5.1- Diagrama carga - Deformación de la muestra de un perno

Se puede observar que la máxima carga es de 687.352 kg donde se generó una deformación de la muestra de 17.24 mm.

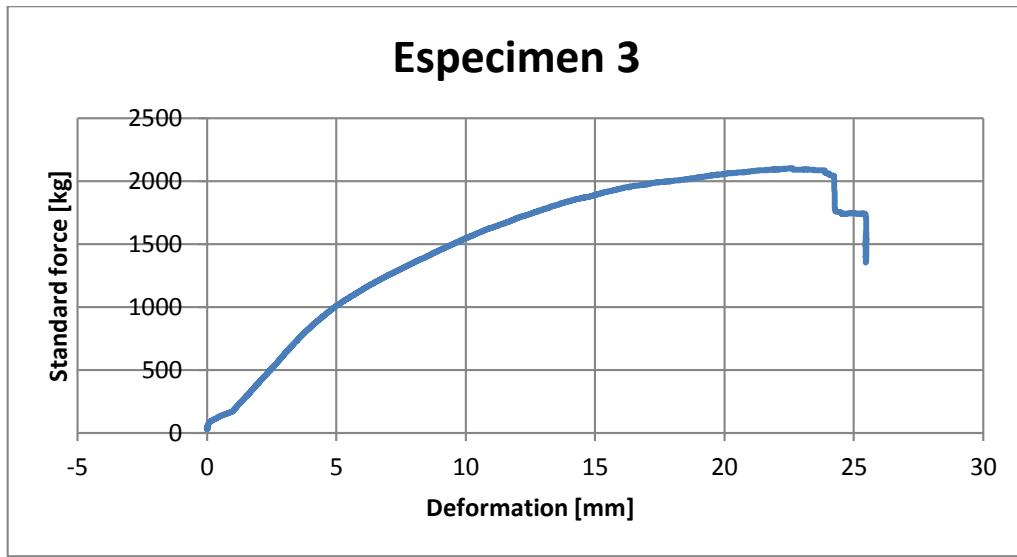
Para dos pernos



Gráfica N° 5.2- Diagrama carga - Deformación de la muestra de dos pernos

Para la segunda muestra se tiene una carga máxima de 1416.567 kg donde se generó una deformación de la muestra de 21.86 mm.

Para tres pernos



Gráfica Nº 5.3- Diagrama carga - Deformación de la muestra de tres pernos

Para la tercera muestra se tiene una carga máxima de 2103.963 kg donde se generó una deformación de la muestra de 22.54 mm.

5.1.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRELIMINARES.

Se puede apreciar una diferencia entre las cargas máximas de las tres muestras, mientras la deformación de las tres muestras es en promedio de 30 mm.

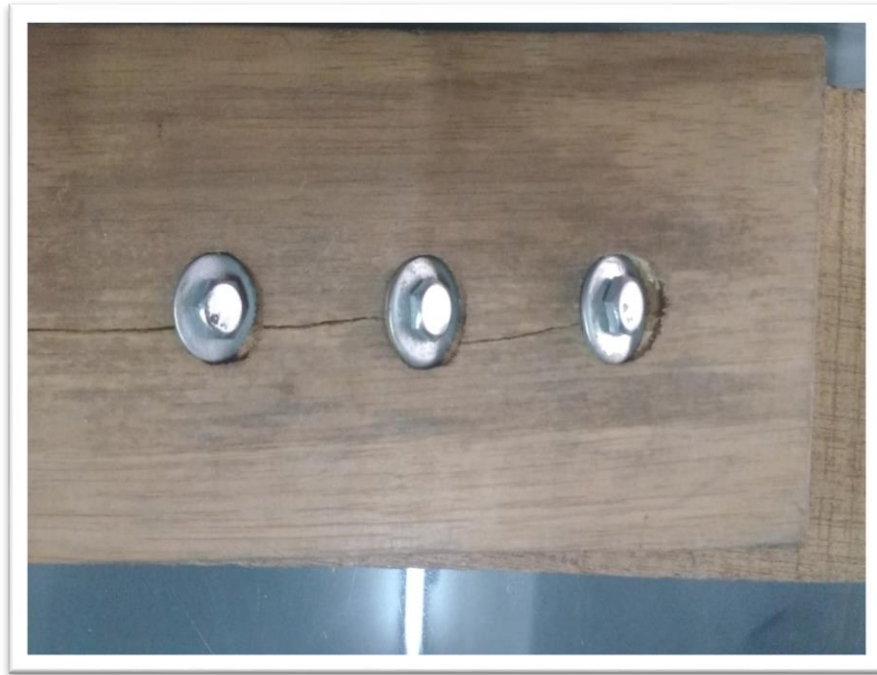
Se observó también un comportamiento de deformación similar en todos los pernos para todas las muestras y el hundimiento de los extremos de los pernos en la madera, de la cual concluimos que el extremo donde se colocaron arandelas metálicas comportaron mejor ante la carga que el extremo libre; por lo tanto, para la realización de los ensayos finales, se colocarán arandelas metálicas en ambos extremos de los pernos.

También, se notó que algunas muestras de la madera se encontraban saturadas; por lo tanto, el contenido de humedad sería excesivo y fuera de lo recomendable por las normas de ensayo de maderas.

Se recomienda dejar secar la madera recién cortada, debido a que al estar recién aserrada se produce un flujo de agua en la superficie, y así tener una mejor trabajabilidad en los ensayos y cumplir las normas correspondientes.

Es recomendable, antes de ensayar, asegurarse que el armado de probetas se ha realizado de manera correcta, sin desviaciones de las piezas de madera y el

correcto empernado, pues pueden variar el comportamiento de las gráficas e inducirnos al error en el análisis matemático estadístico.



Fotografía N° 5.5- Probeta de madera Cumala ensayada con tres pernos en la cara con arandela metálica.



Fotografía N° 5.6- Deformación del perno en muestra ensayada.

5.2 ENSAYOS REALIZADOS

Para el ensayo de cizallamiento doble se revisaron las normas ASTM D3410, las cuales han sido desarrolladas en la investigación de otros tipos de uniones en maderas coníferas que son de menor resistencia que las maderas de nuestra amazonia.

Para este trabajo de investigación, realizado con madera Cumala, se tomaron en cuenta recomendaciones del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, en lo que concierne al cortado en probetas y ser ensayadas como se especifica en el desarrollo de este capítulo.

Para el diseño de las probetas de ensayo se trabajó mediante el método de 2 variables que afectan la resistencia de los pernos, éstas son: Cantidad de pernos y la relación L/D (espesor de la madera entre el Diámetro del perno).

Se consideraron las variaciones de los espesores de la madera con valores de 2 y 4 cm, y en el número de pernos en uno, dos y tres pernos para cada espesor de muestra.

Las siguientes tablas muestran todas las variables estudiadas para todos los ensayos realizados (15). Por lo cual, considerando que serán 2 las variables a analizar, se obtendrá una gráfica que corresponderá a la variación de la carga versus la deformación de las muestras.

Los anchos y alturas de cada pieza de madera son constantes (10x30cm), solo varia los espesores, con dos medidas, 45 piezas de 2cm y 45 piezas de 4cm.

Para cada relación L/D hay una medida de pieza lateral y pieza principal, como se observa en el cuadro siguiente:

Tabla N° 5.2 Dimensiones de las probetas a ensayar.

Muestras	Diámetro del perno	Longitud del perno	Espesor pieza principal	Espesor pieza lateral	Relación L/D	Velocidad ensayo
Cantidad	pulg	pulg	cm	cm	-	mm/min
15	3/8	2 1/2	2.0	1.0	2.09	10.9
15	3/8	2 1/2	2.0	1.0	2.09	10.9
15	3/8	2 1/2	2.0	1.0	2.09	10.9
15	3/8	4	4.0	2.0	4.19	15.4
15	3/8	4	4.0	2.0	4.19	15.4
15	3/8	4	4.0	2.0	4.19	15.4

5.2.1 MONTAJE DE PROBETAS

Luego de analizar los resultados de los ensayos preliminares, y teniendo las consideraciones necesarias para elaborar las probetas de las piezas de maderas y el empernado según la cantidad requerida, se elaboraron las 90 probetas, donde 30 fueron unidas con un perno, 30 probetas con dos pernos y las 30 últimas con tres pernos, todas las muestras con pernos de 3/8" para los espesores 2 y 4cm.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de materiales LEM de la UNI, las cuales se ensayaron de manera diferenciada en 06 bloques de 15 probetas por cada bloque, según espesor de la probeta y el número de pernos en las uniones.



Fotografía N° 5.7- Metrado total de la madera Cumala.



Fotografía N° 5.8- Madera cortada para el montaje de probetas.



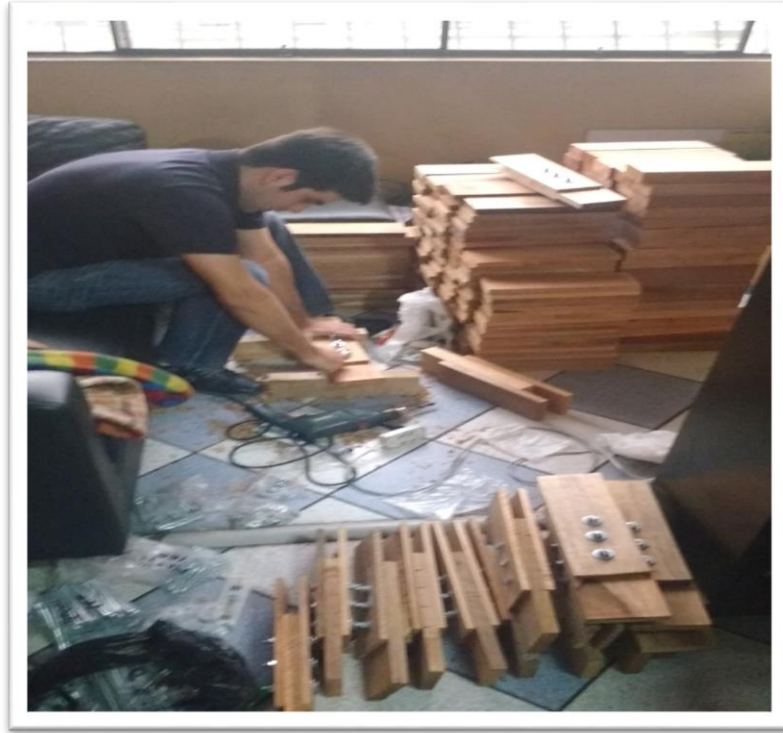
Fotografía N° 5.9- Empacado de la madera.



Fotografía N° 5.10- Transporte de las piezas.



Fotografía N° 5.11- Acondicionamiento de las piezas según medidas.



Fotografía N° 5.12- Montaje de las probetas.



Fotografía N° 5.13- Probetas armadas de un perno.



Fotografía N° 5.14- Probetas finales totales y listadas (90 probetas).

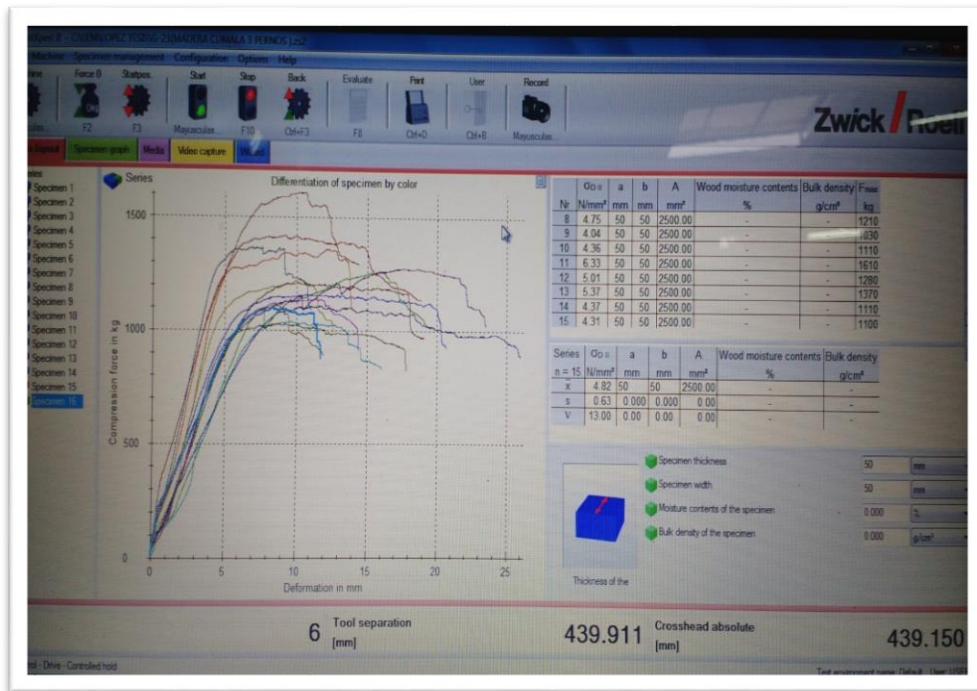


Fotografía N° 5.15- Ensayo en la máquina Zwick Roell.

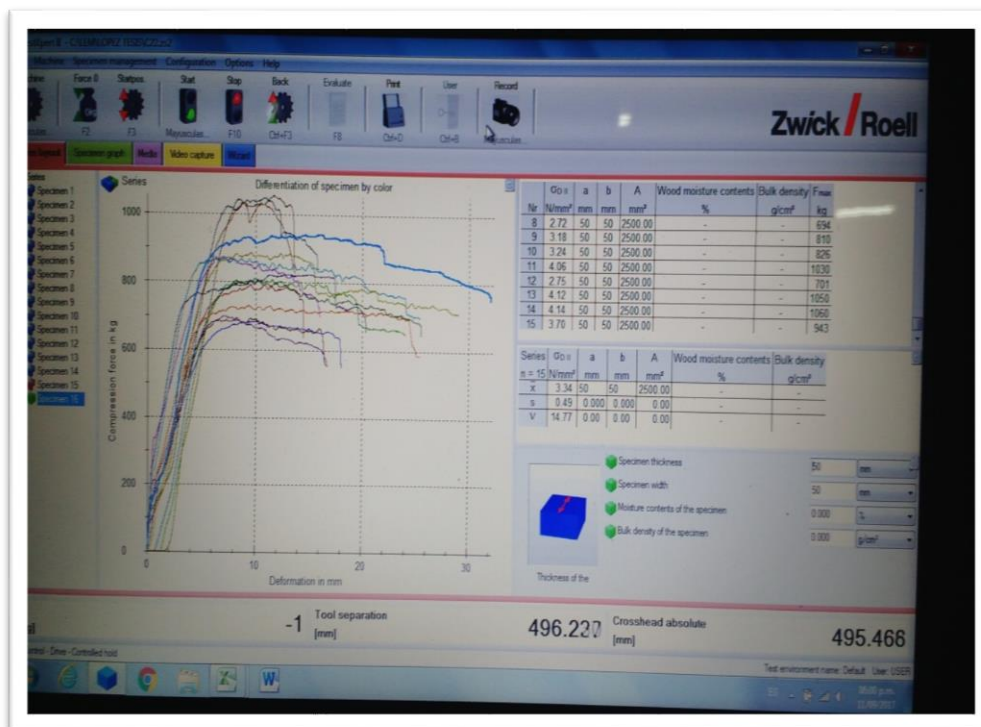


Fotografía N° 5.16- Probeta en el proceso de doble cizallamiento a compresión.

5.2.2 GRÁFICAS DE LOS ENSAYOS



Fotografía N° 5.17- Uso del software TestXpert del Zwick Roell.



Fotografía N° 5.18- Gráfica de Carga vs deformación obtenida del TestXpert.

5.3 CÁLCULOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD

Al finalizar los ensayos de laboratorio, se procedió a cortar muestras de madera de cada probeta señaladas con códigos, de acuerdo al espesor de pieza de madera y número de pernos.

Una vez obtenidas las 90 muestras, y de acuerdo al orden de ensayo y cortes de muestras, se pesaron como muestras húmedas. Acto seguido, se introdujeron al horno por un periodo de 24 horas con el objetivo de tener las muestras anhidras, las cuales, al volver a pesarlas, se obtuvieron los contenidos de humedad de cada muestra, mostrados en los siguientes cuadros:



Fotografía N° 5.19- Muestras introducidas al horno.



Fotografía N° 5.20- Muestras de las probetas a las 24 horas.



Fotografía N° 5.21- Pesado de las muestras secas.

Una vez obtenidas las 90 muestras y de acuerdo al orden de ensayo y cortes de muestras se pesaron las muestras húmedas, luego se introdujeron al horno por un periodo no menor a 24 horas con el objetivo de tener las muestras en estado seco.

Luego de pesarlas en bloques de 15 muestras, se obtuvieron los contenidos de humedad de cada muestra, mostrados en los siguientes 06 cuadros diferenciados:

Cuadro N° 5.2 Probetas de L=2cm y un perno de 3/8”.

Muestra	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G21-01	55.88	46.23	20.87
G21-02	72.6	64.79	12.05
G21-03	31.68	26.62	19.00
G21-04	74.03	67.24	10.09
G21-05	69.96	59.26	18.06
G21-06	80.08	69.77	14.77
G21-07	67.43	59.69	12.96
G21-08	58.63	53.36	9.88
G21-09	71.17	61.31	16.07
G21-10	59.95	50.71	18.21
G21-11	64.79	58.56	10.63
G21-12	56.21	48.83	15.11
G21-13	57.64	48.96	17.72
G21-14	58.41	47.45	23.10
G21-15	73.48	62.03	18.46

Cuadro N° 5.3 Probetas de L=2cm y dos pernos de 3/8”.

Muestra	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G22-01	23.81	21.37	11.41
G22-02	47.99	39.22	22.37
G22-03	45.57	39.58	15.12
G22-04	29.20	25.76	13.36
G22-05	51.06	44.43	14.91
G22-06	54.78	47.67	14.90
G22-07	47.99	42.90	11.86
G22-08	47.80	41.37	15.55
G22-09	52.64	46.25	13.80
G22-10	51.71	43.14	19.87
G22-11	54.68	44.37	23.23
G22-12	62.50	53.38	17.07
G22-13	53.66	47.67	12.57
G22-14	46.41	37.42	24.01
G22-15	60.171	52.84	13.87

Cuadro N° 5.4 Probetas de L=2cm y tres pernos de 3/8”.

Código	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G23-01	55.20	46.42	18.91
G23-02	67.92	61.35	10.71
G03-03	55.68	48.74	14.25
G23-04	60.96	47.98	27.05
G23-05	46.32	41.07	12.78
G23-06	55.08	48.15	14.38
G23-07	53.52	49.19	8.80
G23-08	60.36	50.14	20.39
G23-09	31.56	26.69	18.26
G23-10	67.92	62.90	7.99
G23-11	64.68	58.90	9.82
G23-12	43.80	40.33	8.60
G23-13	56.04	47.68	17.53
G23-14	56.16	47.73	17.67
G23-15	50.16	43.21	16.09

Cuadro N° 5.5 Probetas de L=4cm y un perno de 3/8”.

Muestra	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G41-01	93.72	73.57	27.40
G41-02	109.65	94.51	16.02
G41-03	89.85	77.00	16.69
G41-04	126.81	109.19	16.14
G41-05	114.58	103.41	10.80
G41-06	155.23	121.76	27.49
G41-07	94.07	81.76	15.06
G41-08	124.61	104.56	19.17
G41-09	108.15	90.12	20.01
G41-10	96.62	77.72	24.32
G41-11	159.98	140.69	13.71
G41-12	135.96	114.55	18.69
G41-13	107.10	86.46	23.86
G41-14	107.27	91.03	17.84
G41-15	141.42	119.02	18.82

Cuadro N° 5.6 Probetas de L=4cm y dos pernos de 3/8”.

Código	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G42-01	109.97	95.00	15.76
G42-02	111.40	100.09	11.30
G42-03	128.28	112.59	13.94
G42-04	111.00	99.80	11.22
G42-05	92.27	80.37	14.81
G42-06	82.15	69.74	17.80
G42-07	117.13	101.86	15.00
G42-08	123.37	105.88	16.53
G42-09	137.80	120.45	14.40
G42-10	113.45	100.24	13.18
G42-11	110.69	96.30	14.94
G42-12	69.87	63.25	10.46
G42-13	117.95	92.51	27.51
G42-14	112.43	91.36	23.06
G42-15	109.36	90.24	21.19

Cuadro N° 5.7 Probetas de L=4cm y tres pernos de 3/8”.

Código	Peso húmedo	Peso Seco	Humedad
Código	(gr)	(gr)	(%)
G43-01	112.90	97.24	16.11
G43-02	112.55	97.52	15.41
G43-03	97.97	75.02	30.59
G43-04	88.19	71.30	23.69
G43-05	80.99	68.53	18.18
G43-06	36.00	30.65	17.47
G43-07	105.52	87.83	20.15
G43-08	84.37	71.28	18.35
G43-09	79.92	71.14	12.35
G43-10	78.41	71.35	9.89
G43-11	108.90	89.71	21.39
G43-12	102.50	85.95	19.25
G43-13	86.23	75.26	14.58
G43-14	101.35	85.59	18.41
G43-15	77.34	62.77	23.21

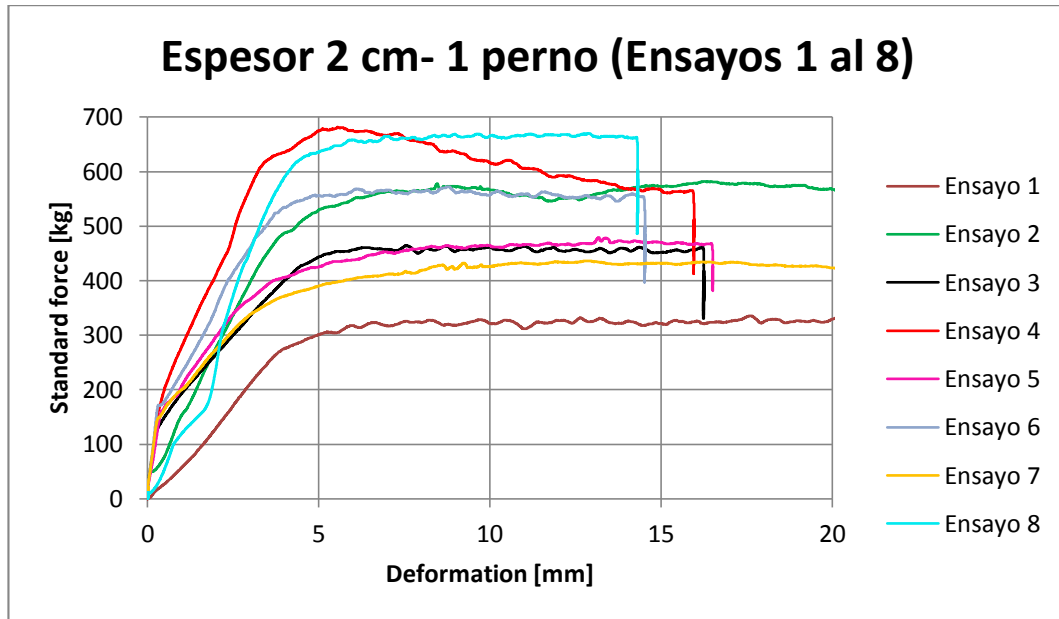
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA AL DOBLE CIZALLAMIENTO

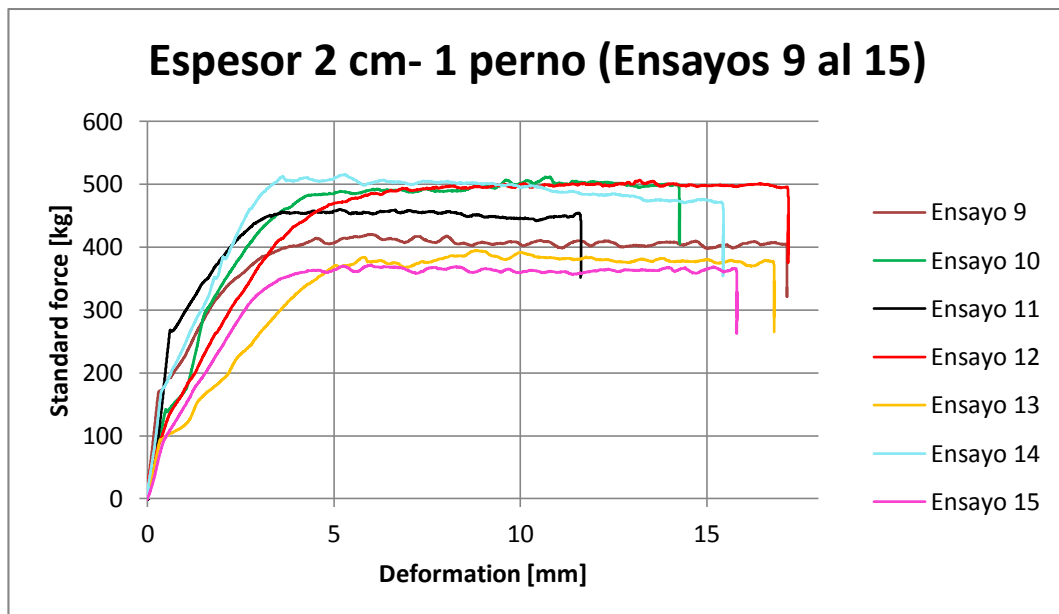
Se presentan las gráficas típicas correspondientes a cada ensayo:

Lo separamos en dos diagramas para una buena representación gráfica:

Espesor central de 2cm y 1 perno:



Gráfica 6.1- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)

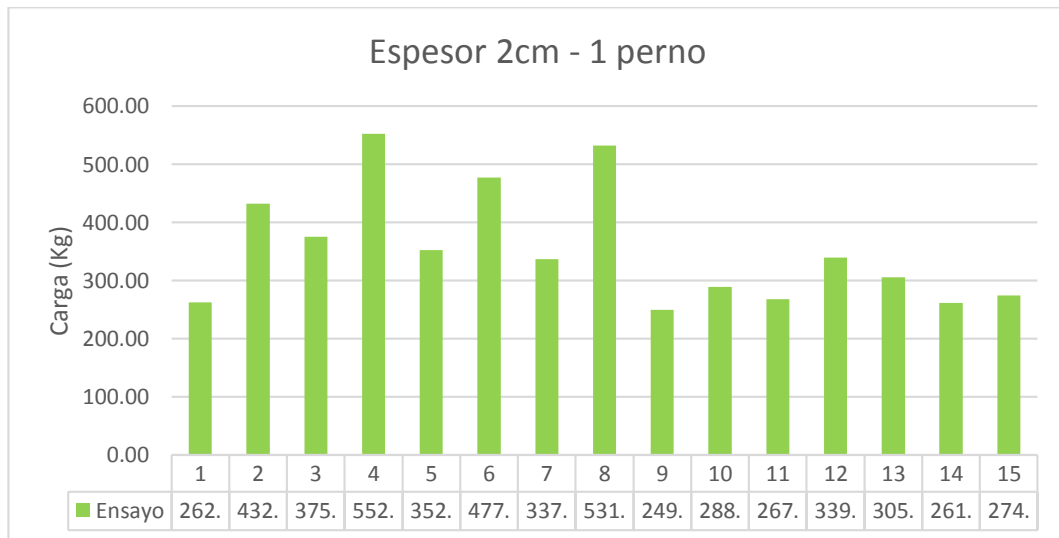


Gráfica 6.2- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 6.1 Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 1 perno.

Ensayo	kg
1	262.60
2	432.26
3	375.77
4	552.77
5	352.59
6	477.21
7	337.00
8	531.97
9	249.57
10	288.66
11	267.50
12	339.52
13	305.15
14	261.63
15	274.73



Gráfica N° 6.3- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2 cm y 1 perno.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 249.57.

Carga básica=249.57 Kg

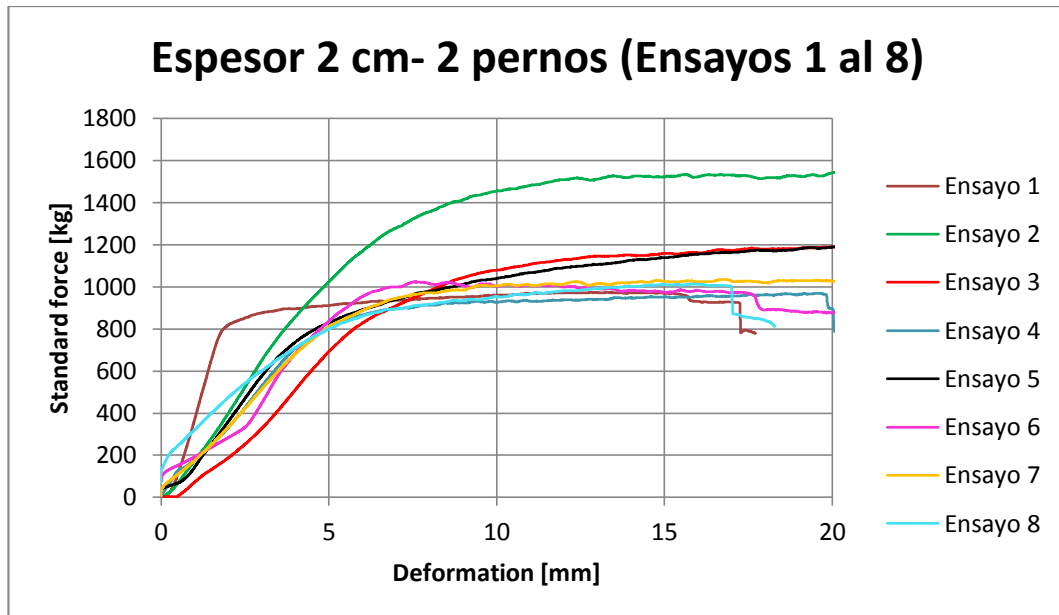
La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible como se menciona en el 8.9 de la norma de E100 Bambú que hace referencia normativa a la ISO 22156 Structural Design y a la ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties

$$\mathbf{Carga\ admisible} = \frac{\mathbf{Carga\ Basica}}{3}$$

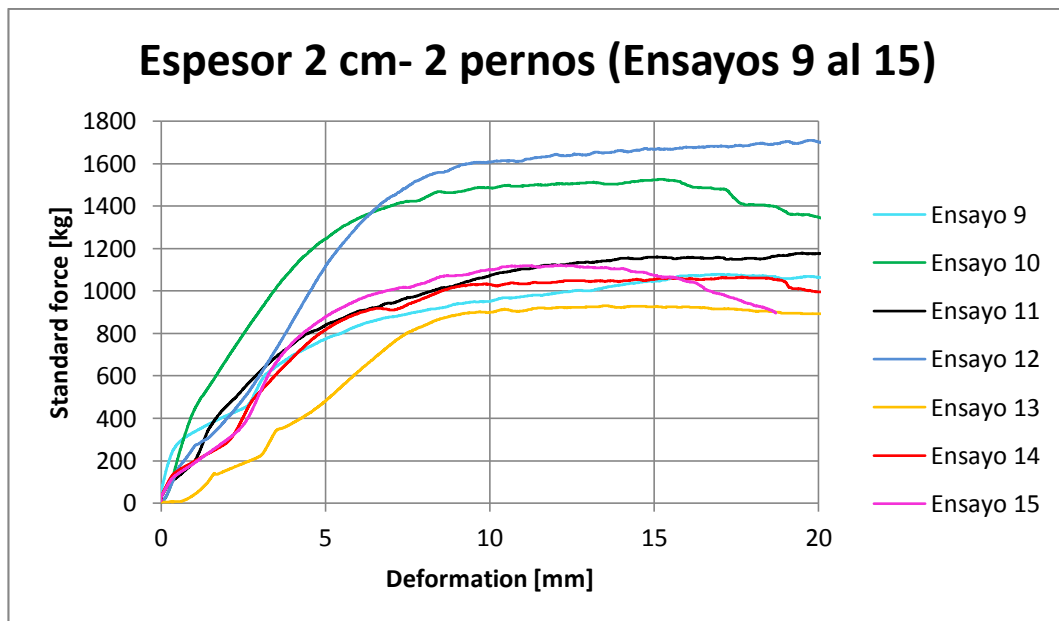
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible = 83.19 Kg

Espesor central de 2 cm y 2 pernos:



Gráfica 6.4- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)

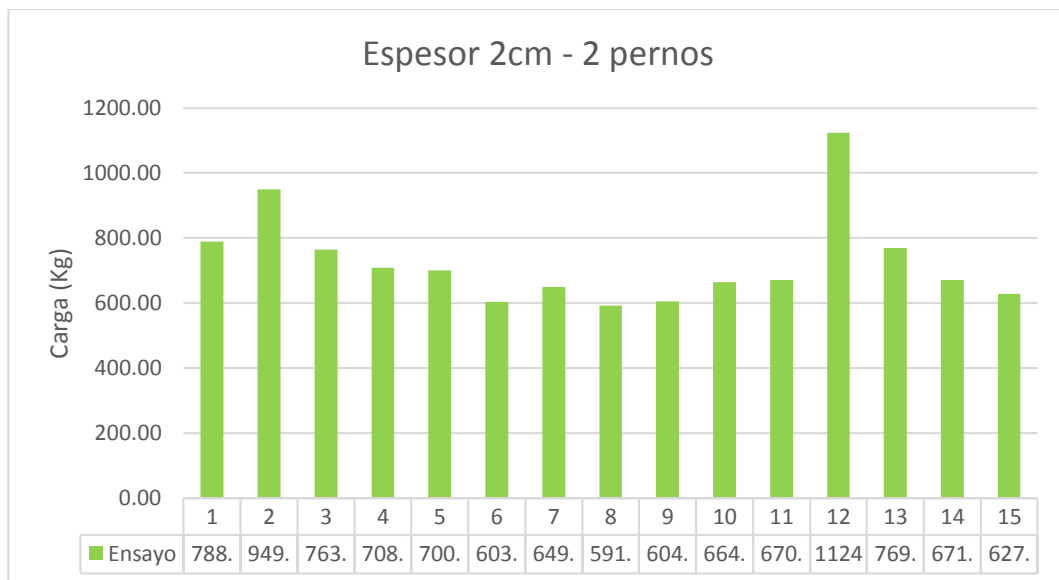


Gráfica 6.5- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla Nº 6.2 Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos.

Ensayo	Ensayo
1	788.23
2	949.24
3	763.54
4	708.62
5	700.62
6	603.89
7	649.87
8	591.94
9	604.29
10	664.86
11	670.38
12	1124.07
13	769.77
14	671.16
15	627.76



Gráfica Nº 6.6- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2 cm y 2 pernos.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 591.94.

Carga básica=591.94 Kg

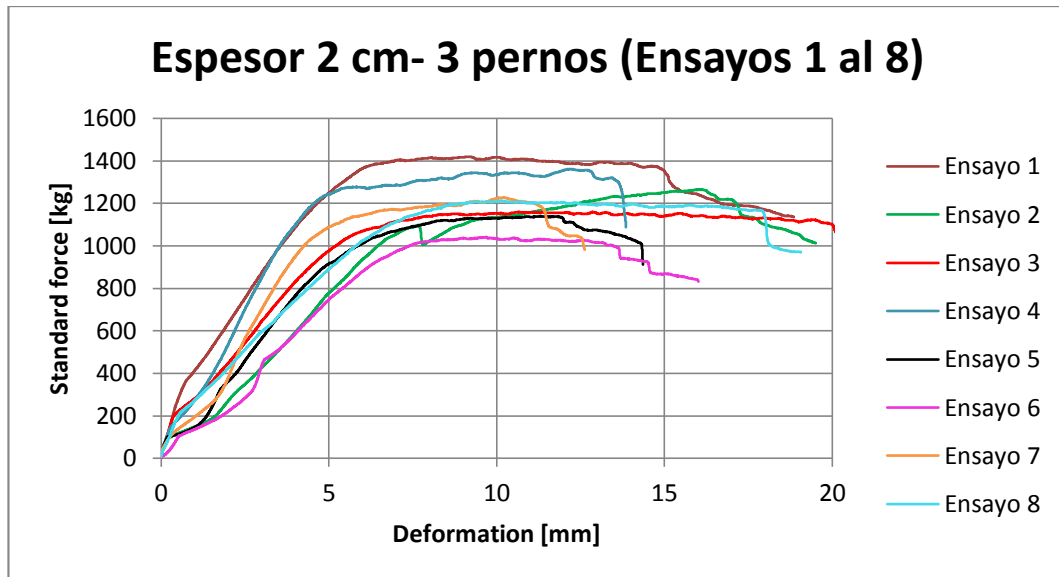
La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible

$$\mathbf{Carga\ admisible} = \frac{\mathbf{Carga\ Basica}}{3}$$

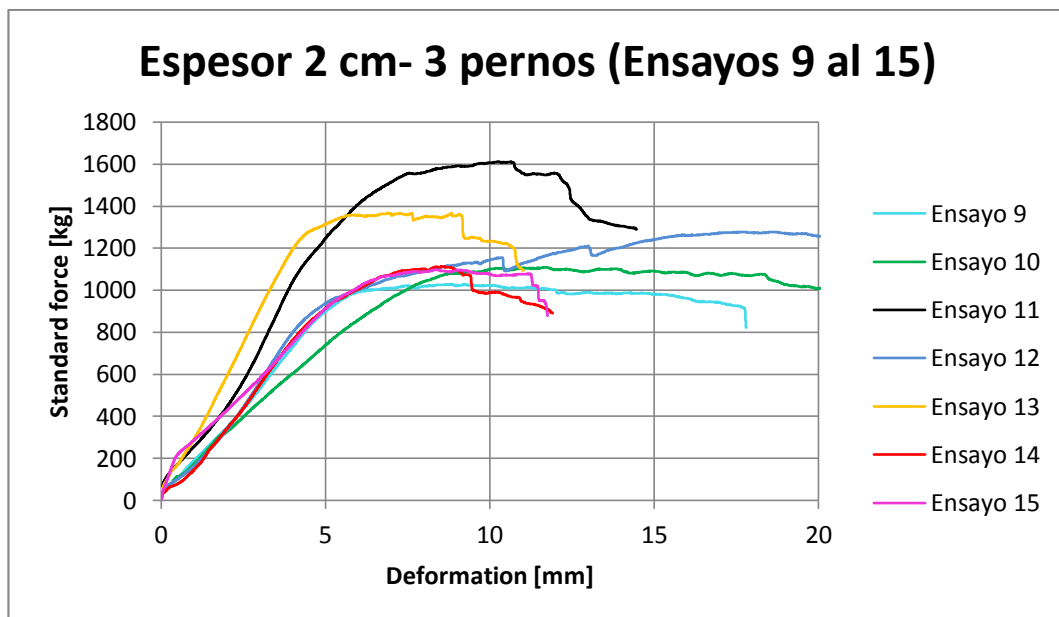
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible=197.31 Kg

Espesor central de 2 cm y 3 pernos:



Gráfica 6.7- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)

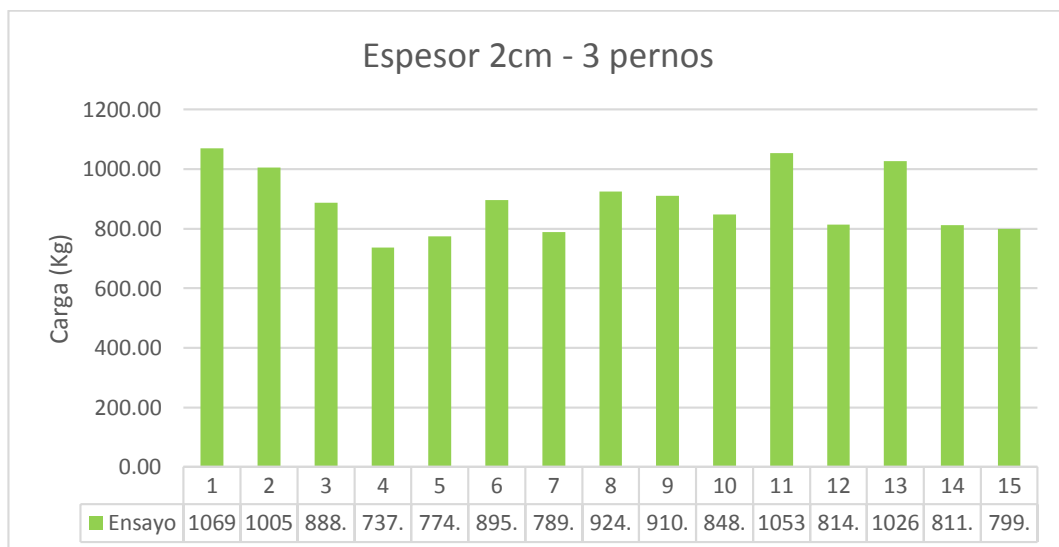


Gráfica 6.8- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 6.3 Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos.

Ensayo	Ensayo
1	1069.72
2	1005.69
3	888.15
4	737.52
5	774.55
6	895.88
7	789.33
8	924.71
9	910.62
10	848.50
11	1053.79
12	814.40
13	1026.47
14	811.58
15	799.71



Gráfica N° 6.9- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 2 cm y 3 pernos.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 737.52.

Carga básico=737.52 Kg

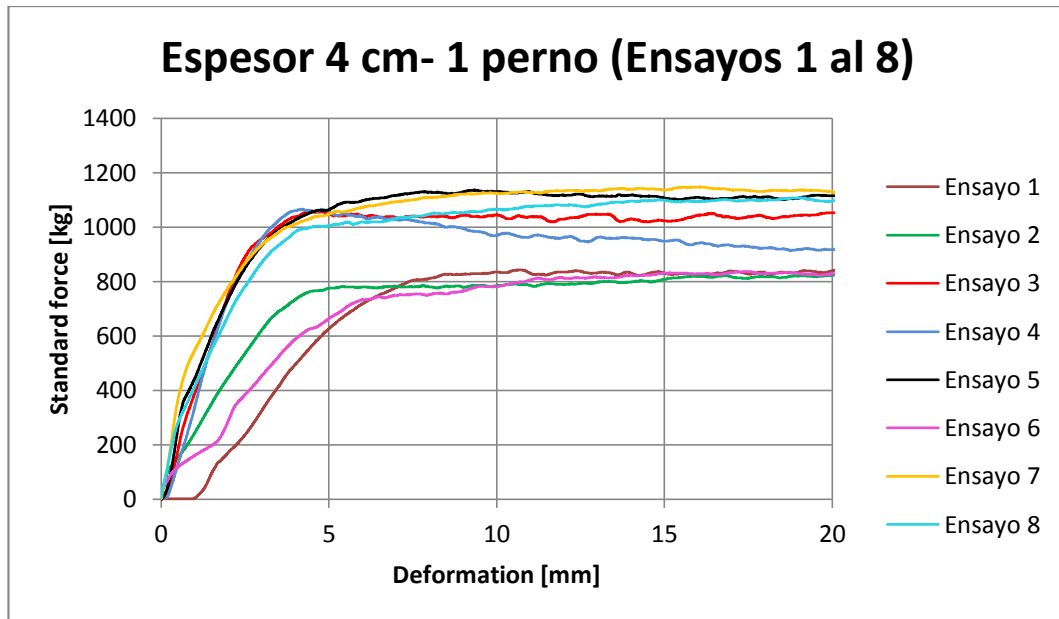
La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible

$$\mathbf{Carga\ admisible = \frac{Carga\ Basica}{3}}$$

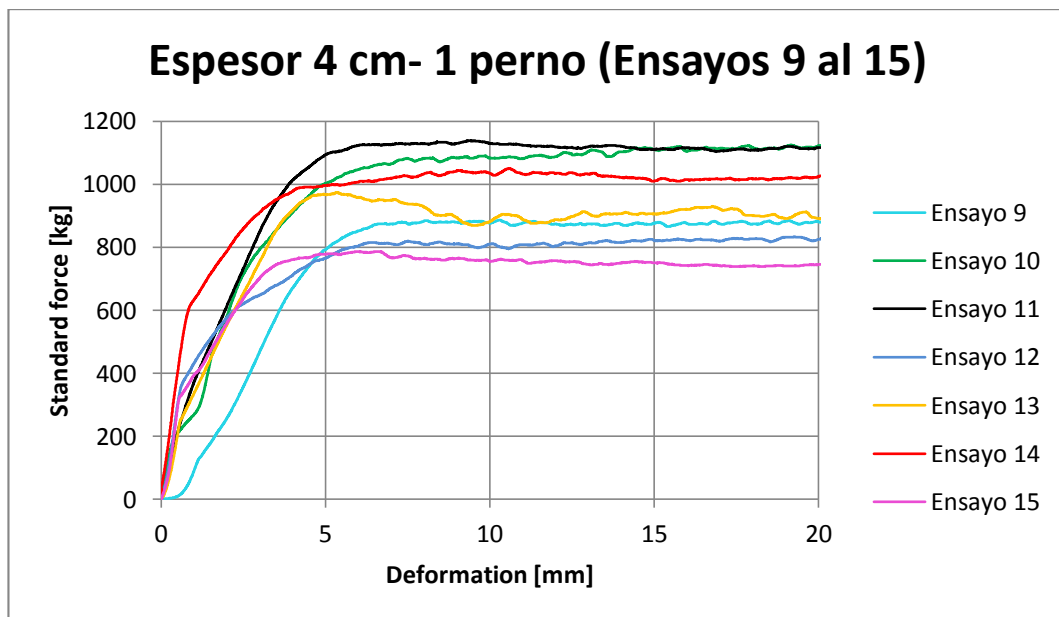
Por lo tanto, la carga admisible será:

Carga admisible=245.84 Kg

Espesor central de 4 cm y 1 perno:



Gráfica 6.10- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)

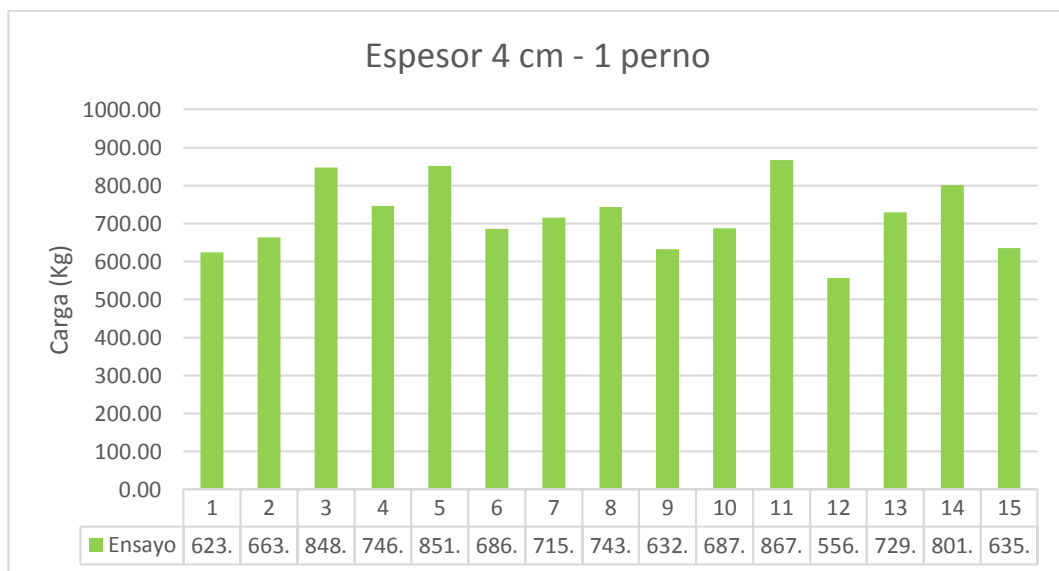


Gráfica 6.11- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla Nº 6.4 Cargas para las probetas con espesor de 4 cm y 1 perno.

Ensayo	Ensayo
1	623.48
2	663.46
3	848.08
4	746.16
5	851.35
6	686.20
7	715.23
8	743.17
9	632.08
10	687.34
11	867.06
12	556.18
13	729.94
14	801.24
15	635.56



Gráfica Nº 6.12- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 4 cm y 1 perno.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 556.18.

Carga básica=556.18 Kg

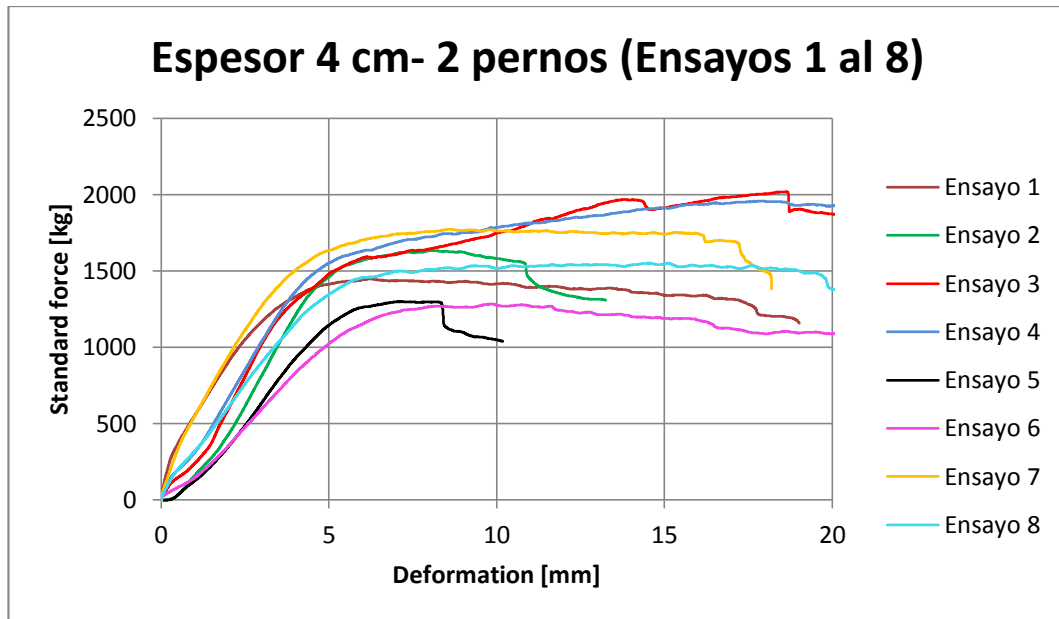
La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible

$$\mathbf{Carga\ admisible} = \frac{\mathbf{Carga\ Basica}}{3}$$

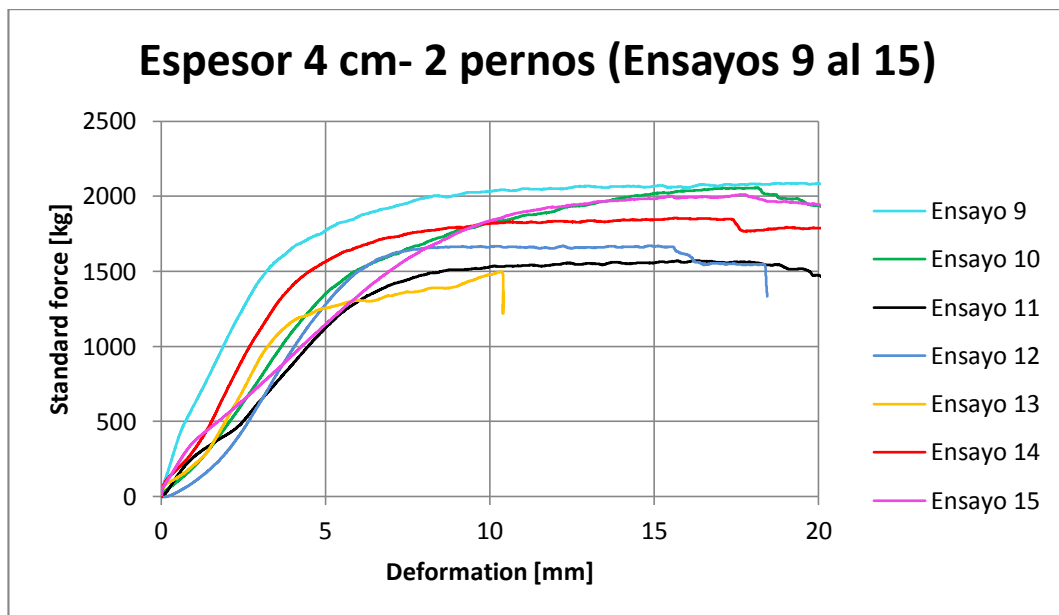
Por lo tanto, la carga admisible será:

Carga admisible=185.39 Kg

Espesor central de 4 cm y 2 pernos:



Gráfica 6.13- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)

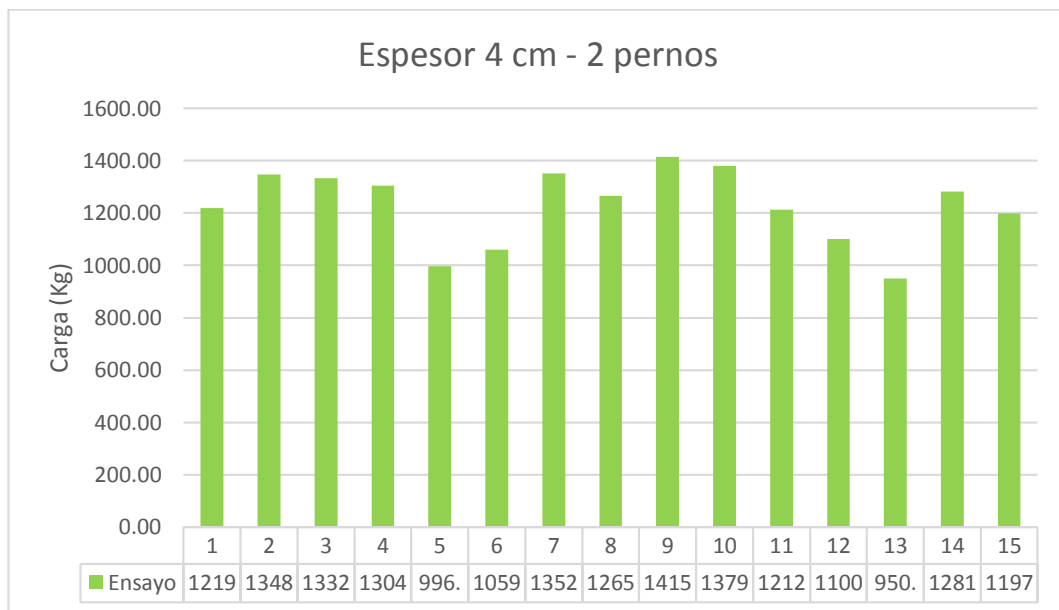


Gráfica 6.14- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla Nº 6.5 Cargas para las probetas con espesor de 4 cm y 2 pernos.

Ensayo	Ensayo
1	1219.61
2	1348.06
3	1332.73
4	1304.25
5	996.42
6	1059.13
7	1352.42
8	1265.74
9	1415.86
10	1379.65
11	1212.19
12	1100.44
13	950.31
14	1281.41
15	1197.84



Gráfica Nº 6.15- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 4 cm y 2 pernos.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 950.31.

Carga básica = 950.31 Kg

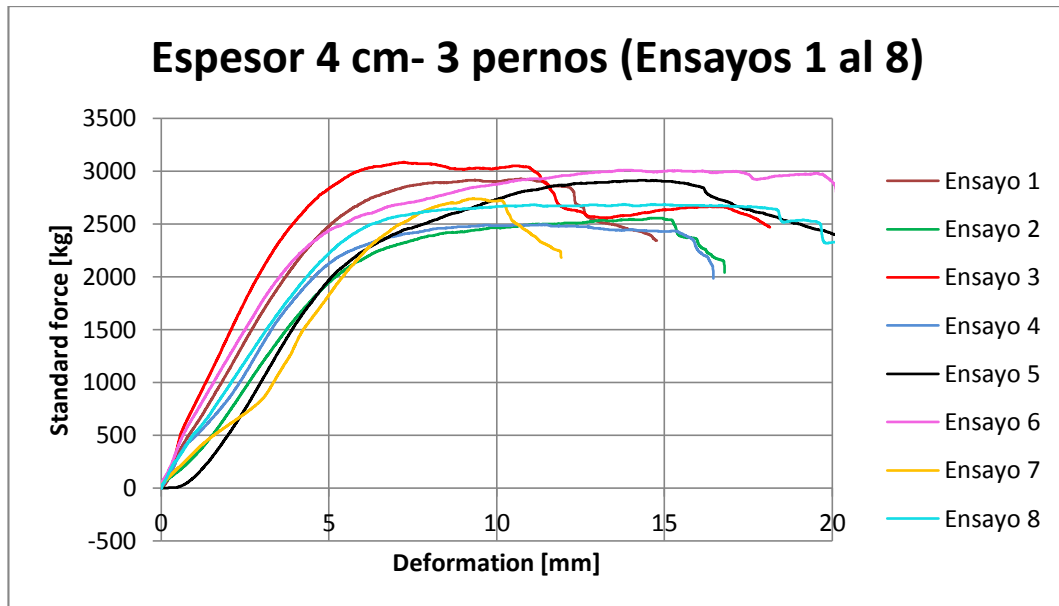
La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible

$$\text{Carga admisible} = \frac{\text{Carga Basica}}{3}$$

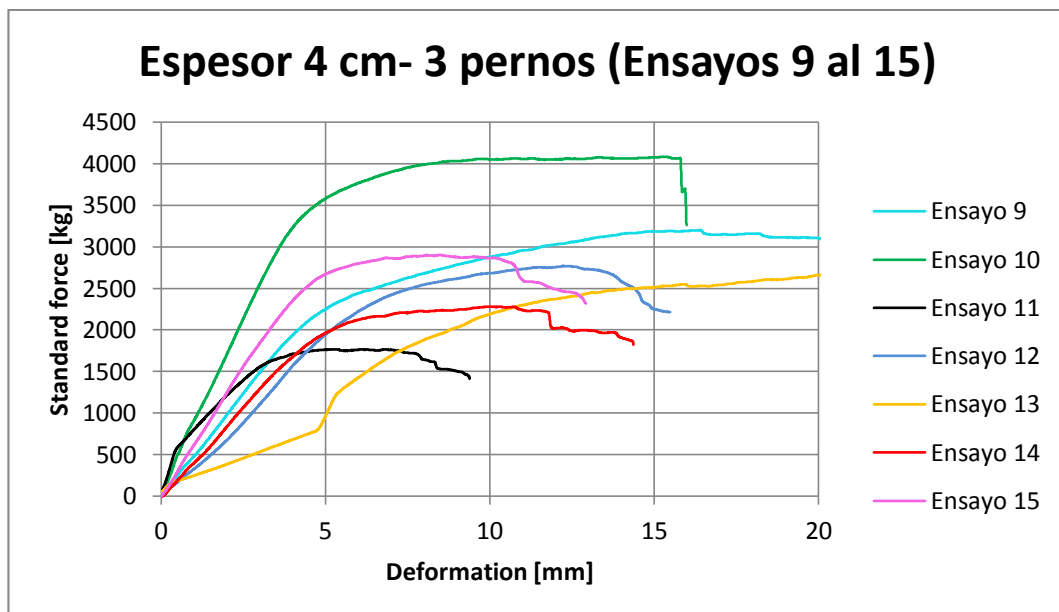
Por lo tanto, la carga admisible será:

Carga admisible = 316.77 Kg

Espesor central de 4 cm y 3 pernos:



Gráfica 6.16- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)

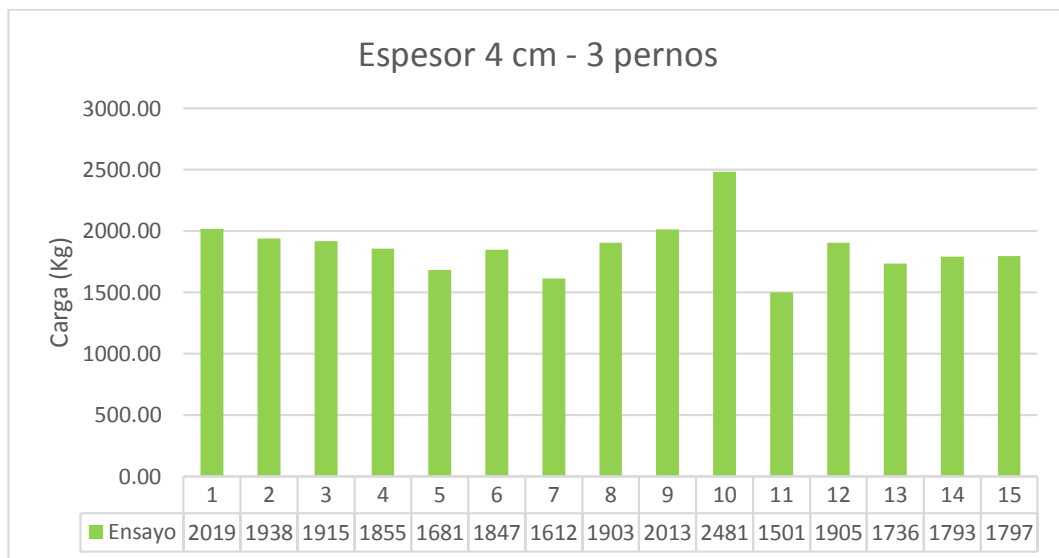


Gráfica 6.17- Diagrama Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)

De los gráficos del Ensayo de Doble Cizallamiento, se obtienen los valores de Carga al Límite Proporcional que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 6.6 Cargas para las probetas con espesor de 4 cm y 3 pernos.

Ensayo	Ensayo
1	2019.02
2	1938.95
3	1915.92
4	1855.47
5	1681.65
6	1847.82
7	1612.08
8	1903.33
9	2013.98
10	2481.32
11	1501.26
12	1905.94
13	1736.03
14	1793.39
15	1797.74



Gráfica N° 6.18- Cuadro de resumen de los ensayos con espesor 4 cm y 3 pernos.

Se halla la carga básica de acuerdo a la norma E.010 que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$
Por lo tanto, se escoge el menor valor que es 1501.26.

Carga básica =1501.26 Kg

La carga básica le tomaremos la tercera parte como factor de seguridad para calcular la carga admisible

$$Carga\ admisible = \frac{Carga\ Basica}{3}$$

Por lo tanto, la carga admisible será:

Carga admisible=500.42 Kg

6.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA E.010

Ahora se comparan los esfuerzos admisibles obtenidos de los ensayos con los establecidos en la norma. La Tabla 6.8 indica los esfuerzos admisibles para los distintos tipos de madera:

Tabla Nº 6.7 Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 2 cm. (RNE, 2014)

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO "N" (KG)							
d	d	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
CM	PLG	P	Q	P	Q	P	Q
Espesor de la pieza central = 2,0 cm							
0.63	1/4	1912	863	1285	569	735	333
		(195)	(88)	(131)	(58)	(75)	34
0.95	3/8	2913	990	1922	657	1108	382
		(297)	(101)	(196)	(67)	(113)	(39)
1.27	1/2	3883	1147	2560	765	1441	441
		(396)	(117)	(261)	(78)	(151)	(45)
1.59	5/8	4854	1294	3197	863	1844	500
		(495)	(132)	(326)	(88)	(188)	(51)

Tabla Nº 6.8 Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 4 cm. (RNE, 2014)

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO "N" (KG)							
d	d	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
CM	PLG	P	Q	P	Q	P	Q
Espesor de la pieza central = 4,0 cm							
0.63	1/4	2511	1412	1961	1118	1255	667
		(256)	(144)	(200)	(114)	(128)	(68)
0.95	3/8	4815	1971	3785	1314	2216	765
		(491)	(201)	(386)	(134)	(226)	(78)
1.27	1/2	7639	2295	5119	1530	2952	892
		(779)	(234)	(522)	(156)	(301)	(91)
1.59	5/8	9709	2589	6404	1716	3687	1000
		(990)	(264)	(653)	(175)	(376)	(102)

Donde:

P compresión paralela.

Q: compresión perpendicular.

Para uniones con 2 pernos o más, se utiliza un factor de reducción de carga en función al número de pernos por línea de la carga aplicada:

Tabla Nº 6.9 Factores de reducción a la carga admisible en función del número de pernos por línea paralela a la dirección de la carga aplicada. (RNE, 2014)

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

Utilizando la Tabla 6.10 y los resultados de los ensayos, se llega a los siguientes resultados que se muestran en las Tablas 6.11 y 6.12:

Tabla Nº 6.10 Comparación de cargas admisibles entre la madera Cumala y los distintos grupos de madera según la norma E.010 para espesor de la pieza central de 2 cm. (Elaboración propia)

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO CON ESPESOR DE LA PIEZA CENTRAL 2 CM (KG)				
Nº DE PERNOS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	CUMALA
1	297.00	196.00	113.00	83.19
2	594.00	392.00	226.00	197.31
3	819.72	540.96	311.88	245.84

Tabla Nº 6.11 Comparación de cargas admisibles entre la madera Cumala y los distintos grupos de madera según la norma E.010 para espesor de la pieza central de 4 cm. (Elaboración propia)

CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO CON ESPESOR DE LA PIEZA CENTRAL 4 CM (KG)				
Nº DE PERNOS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	CUMALA
1	491.00	386.00	226.00	185.39
2	982.00	772.00	452.00	316.77
3	1355.16	1065.36	623.76	500.42

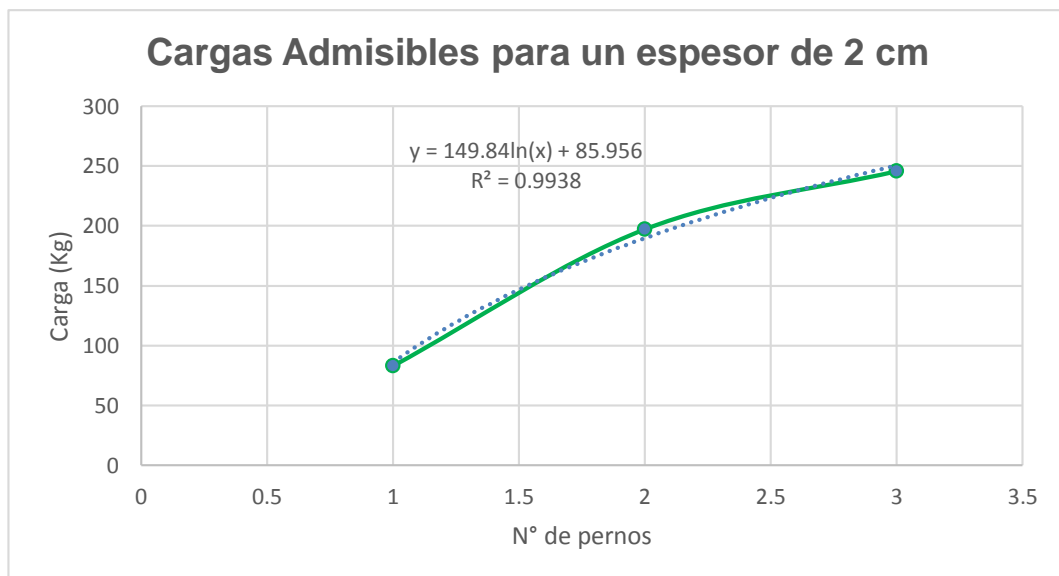
Los resultados para un espesor de 2 cm y para un espesor de 4 cm son razonables ya que la madera Cumala es de menor densidad que las del grupo C (0,40 g/cm³) eso implica una carga admisible más baja.

6.3 PROYECCIÓN DE CARGAS ADMISIBLES PARA MAS DE 3 PERNOS

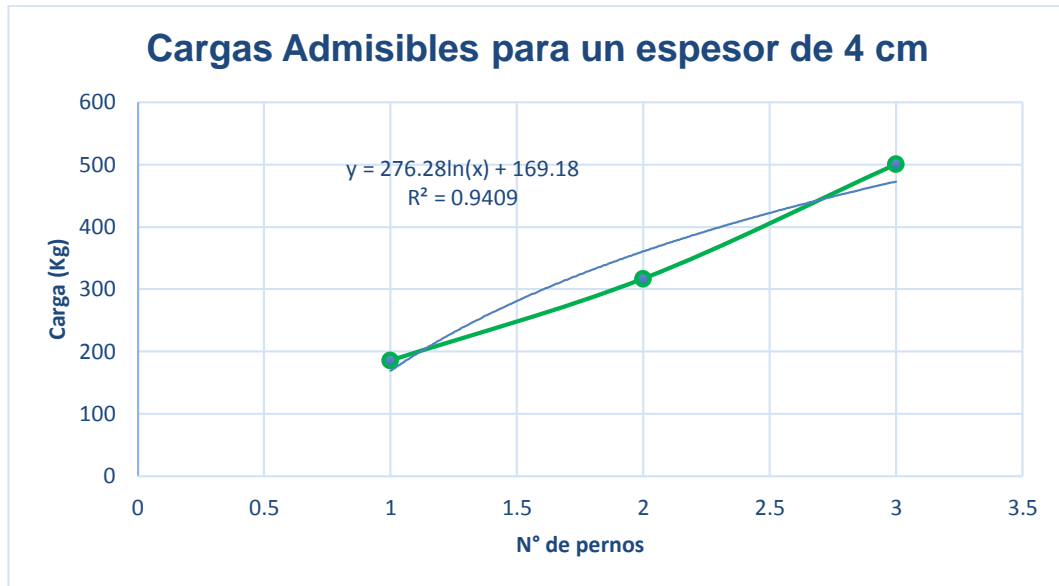
Para realizar las proyecciones, comparamos el número de pernos con las cargas admisibles obtenidas en los ensayos utilizando la norma ITINTEC 251.010

Tabla N° 6.12 Cargas admisibles de acuerdo al número de pernos y espesor de la pieza central.

Espesor de la pieza central (cm)	N° de pernos	Carga admisible (Kg)
2	1	83.19
	2	197.31
	3	245.84
4	1	185.39
	2	316.77
	3	500.42



Gráfica N° 6.19- Carga admisible en función al número de pernos para un espesor de 2 cm



Gráfica Nº 6. 20- Carga admisible en función al número de pernos para un espesor de 4 cm

Como se tiene las ecuaciones de ajuste para cada grupo, se pueden hacer proyecciones de cargas admisibles para 4, 5, 6 y 7 pernos respectivamente, obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en las Tablas 6.14 y 6.15

Tabla Nº 6.13 Proyección de cargas admisibles con respecto al número de pernos para un espesor de 2 cm.

Nº de pernos	Carga admisible (Kg)
4	293.68
5	327.11
6	354.43
7	377.53

Tabla N° 6.14 Proyección de cargas admisibles con respecto al número de pernos para un espesor de 4 cm.

N° de pernos	Carga admisible (Kg)
4	552.18
5	613.84
6	664.21
7	706.80

De estas proyecciones se puede visualizar que a medida se van incrementando el número de pernos la variación de la carga admisible disminuye, con lo cual se puede inferir que no es muy eficiente colocar muchos pernos en la línea de la dirección de la carga ya que probablemente solamente algunos pernos trabajen debido a la carga aplicada.

6.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL MANUAL DE DISEÑO DEL GRUPO ANDINO

El manual de diseño del grupo Andino tiene un apartado sobre las cargas y esfuerzos admisibles en uniones empernadas (Sección 12.2), se procede a comparar entre los resultados obtenidos y el cálculo obtenido de esta norma.

Para espesor 2 cm y 1 perno ($l/d=2.1$):

En primer lugar se halla es esfuerzo al valor medio del límite proporcional con la siguiente fórmula:

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

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

Para una densidad de 0.38 gr/cm³, se obtiene un esfuerzo de

$$\sigma_{LP, promedio} = 127.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{U, min} = 162.69 \text{ kg/cm}^2$$

En la Tabla 6.15 se muestra los coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano.

Tabla 6.15 Coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano (Manual de diseño del grupo Andino, 1984 y RNE E010).

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

La razón de esbeltez es $l/d=2/(3/8 \times 2.54)=2.1$, y además se puede verificar que el coeficiente de reducción por esbeltez se mantiene en el valor de 1, mientras la densidad es menor (ya que no se encuentran valores para grupos menores a C), por lo tanto el coeficiente será de $R_{LP}=1$ y $R_U=1$

Ahora se calcula la carga promedio mediante la fórmula:

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

$$P_{U, min} = (l_p)\sigma_{U, min} R_U$$

En la cual ($l_p=1.905 \text{ cm}^2$) es el área de contacto del perno y la pieza central proyectada al plano perpendicular a la dirección de la carga, para un espesor de 2 cm y diámetro de 3/8", La carga promedio será de 243.22 Kg y $P_u = 309.92 \text{ kg}$

Finalmente la carga admisible es el menor valor de:

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

El valor de F_{LP} y F_u se obtiene de la Tabla. 6.16 sobre factores de reducción de cargas.

Tabla 6.16 Factores de reducción para la obtención de cargas paralelas al grano (Manual de diseño del grupo Andino, 1984).

Consideraciones de diseño	Valor promedio de la carga al límite proporcional (condición de servicio)	Valor mínimo de la carga máxima (condición última)
Duración de carga	1.33	1.60
Factores de carga	1.00	1.50
Aproximaciones del análisis y otros	1.25	1.25
	$F_{LP} = 1.67$	$F_U = 3.00$

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **103.30 kg**

Para espesor 2 cm y 2 pernos ($l/d=2.1$):

Como se ha utilizado el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, de acuerdo a la Tabla 6.9 y según la ecuación:

$$P_{admisible} = P_{admisible\ perno} (N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.9).

Por lo tanto la carga admisible es **206.61 kg**.

Para espesor 2 cm y 3 pernos ($l/d=2.1$):

Como se ha utilizado el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, de acuerdo a la Tabla 6.9 y según la ecuación:

$$P_{admisible} = P_{admisible\ perno} (N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.9).

Por lo tanto la carga admisible es **285.10 kg**.

Para espesor 4 cm y 1 perno ($l/d=4.2$):

Primeramente se halla es esfuerzo al valor medio del límite proporcional con la siguiente fórmula:

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

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

Para una densidad de 0.38 gr/cm³, se obtiene un esfuerzo de

$$\sigma_{LP, promedio} = 127.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{U, min} = 162.69 \text{ kg/cm}^2$$

La relación de esbeltez es $l/d=4/(3/8 \times 2.54)=4.2$, como en el caso anterior (2 cm) no se tiene valores para una madera con menor densidad del tipo C, así que se asumirá el valor del tipo C, promediando el valor de $l/d=4$ (Tabla 6.15) entonces el valor de R_{LP} será de 0.864 y R_u será de 1.0

Ahora se calcula la carga promedio a través de la fórmula:

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

$$P_{U, min} = (\ell_p) \sigma_{U, min} R_u$$

En la cual ($\ell_p = 3.81 \text{ cm}^2$) es el área de contacto del perno y la pieza central proyectada al plano perpendicular a la dirección de la carga, para un espesor de 4 cm y diámetro de 3/8", La carga promedio será de 420.28 Kg y P_u será de 619.84 kg

Finalmente la carga admisible es el menor valor de:

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

El valor de F_{LP} y F_u se obtiene de la Tabla. 6.16 sobre factores de reducción de cargas.

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **206.61 Kg**.

Para espesor 4 cm y 2 pernos ($l/d=4.2$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, de acuerdo a la Tabla 6.9 y según la ecuación:

$$P_{admisible} = P_{admisible \text{ perno}}(N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.9).

Por lo tanto la carga admisible es **413.22 kg**

Para espesor 4 cm y 3 pernos ($l/d=4.2$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno de acuerdo a la Tabla 6.9 y según la ecuación:

$$P_{admisible} = P_{admisible \text{ perno}}(N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.9).

Por lo tanto la carga admisible es **570.24 kg**

Finalmente en la Tabla 6.17 se muestra la comparación de los resultados obtenidos de las 2 maneras:

Tabla 6.17 Comparación entre las cargas admisibles obtenidas mediante ensayos y calculadas con el manual de madera del grupo Andino.

Espesor de la pieza central (cm)	N° de pernos	Carga admisible por ensayos (Kg)	Carga admisible calculada (Kg)	Variación (%)
2	1	83.19	103.30	19.46%
	2	197.31	206.61	4.50%
	3	245.84	285.10	13.77%
4	1	185.39	206.61	10.27%
	2	316.77	413.22	23.34%
	3	500.42	570.24	12.24%

6.5 RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE

Se busca una relación entre la densidad y el esfuerzo admisible (parecida a la ecuación utilizada en la sección 6.4), para eso se utiliza las cargas admisibles de la norma E.010 para las maderas A, B y C y los resultados obtenidos del laboratorio para la madera Cumala. Se sigue el siguiente procedimiento:

- Se transforman las cargas a esfuerzo, dividiendo entre el área de contacto del perno y la pieza central proyectada al plano perpendicular a la dirección de la carga (ℓp).
- Se hace un ajuste a una ecuación potencial ($ax^b=y$) y se tienen los valores de a y b.

Para $\ell/d=2.1$ y un perno

Se ordenan los datos obtenidos para $\ell/d=2.1$ y un perno que se presenta en la Tabla 6.19:

Tabla 6.18 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $\ell/d=2.1$ y un perno

GRUPO	DENSIDAD (gr/cm ³)	CARGA ADMISIBLE (Kg)	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg/cm ²)
A	0.78	297	155.91
B	0.63	196	102.89
C	0.48	113	59.32
CUMALA	0.38	83.19	43.67

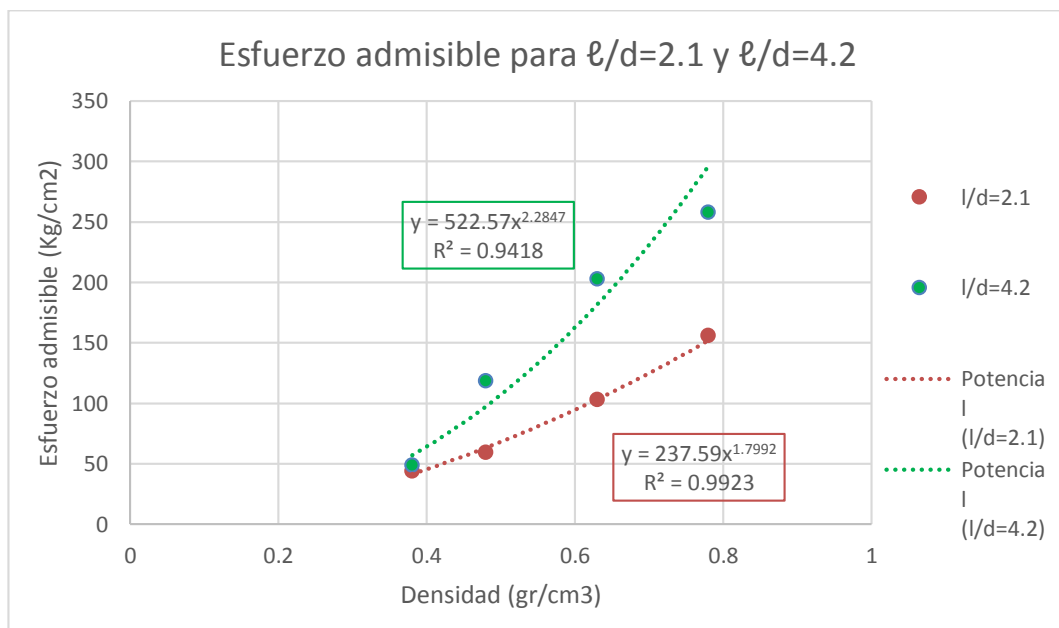
Para $l/d=4.2$ y un perno

Se ordenan los datos obtenidos para $l/d=4.2$ y un perno que se presenta en la Tabla 6.20:

Tabla 6.19 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=4.2$ y un perno

GRUPO	DENSIDAD (gr/cm ³)	CARGA ADMISIBLE (Kg)	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg/cm ²)
A	0.78	491	257.74
B	0.63	386	202.62
C	0.48	226	118.64
CUMALA	0.38	185.39	48.66

Luego se realiza el ajuste entre densidad y carga admisible para $l/d=2.1$ y $l/d=4.2$, que se presenta en el Gráfico 6.21:



Gráfica 6.21 Relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=2.1$ y $l/d=4.2$

Por lo tanto la relación entre la densidad y la carga admisible con un valor de $l/d=2.1$ será:

$$\sigma = 237.59\rho^{1.7992}$$

Además, la relación entre la densidad y la carga admisible con un valor de $l/d=4.2$ será:

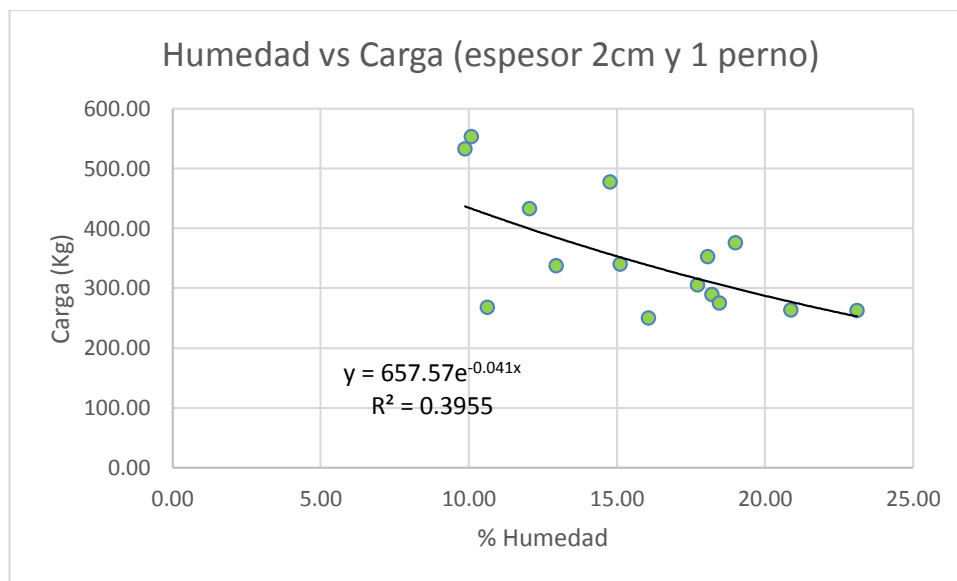
$$\sigma = 522.57\rho^{2.2847}$$

6.6 EFECTOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA RESISTENCIA DE LAS PROBETAS

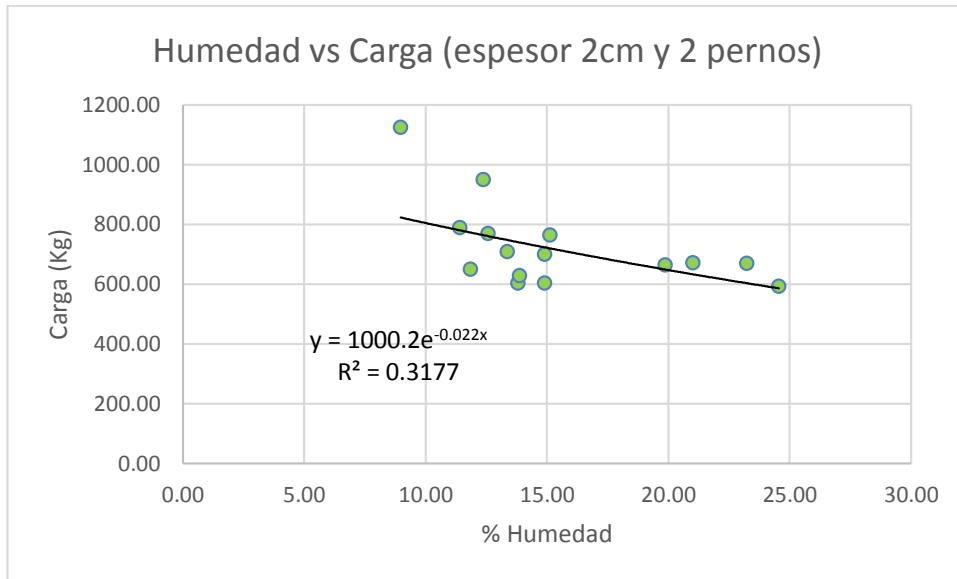
También se procedió a hacer comparaciones entre los contenidos de humedad de las probetas mediante muestras y la carga obtenida.

De acuerdo al manual de diseño para maderas del grupo andino, la relación entre el contenido de humedad y la resistencia es una expresión del tipo exponencial, la cual se colocará para cada gráfica.

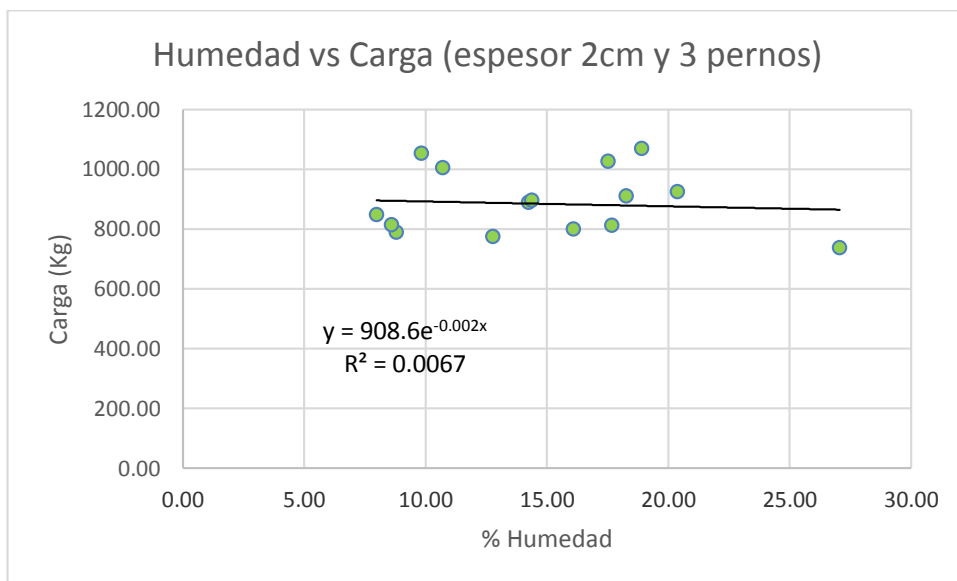
Los resultados se muestran a continuación:



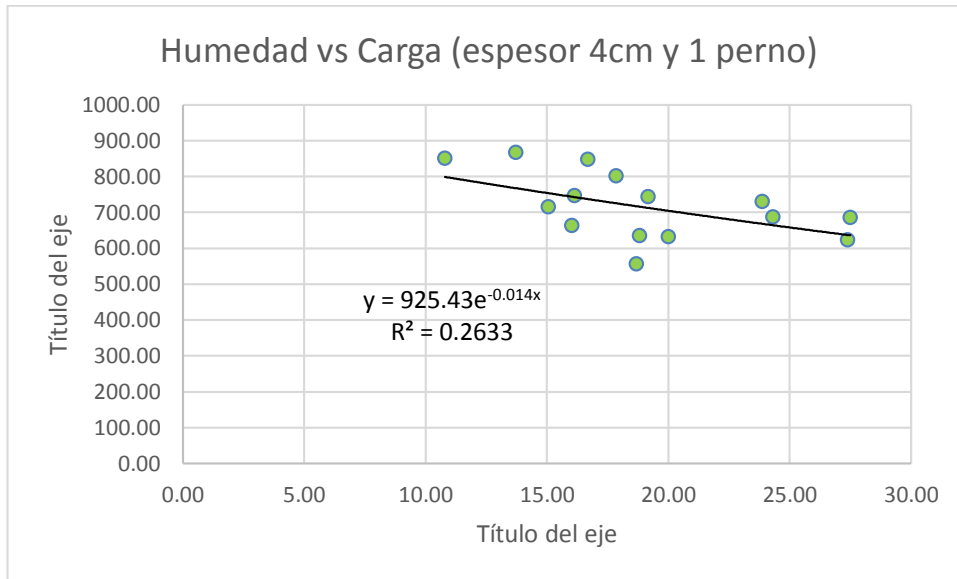
Gráfica N° 6. 22- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 1 perno



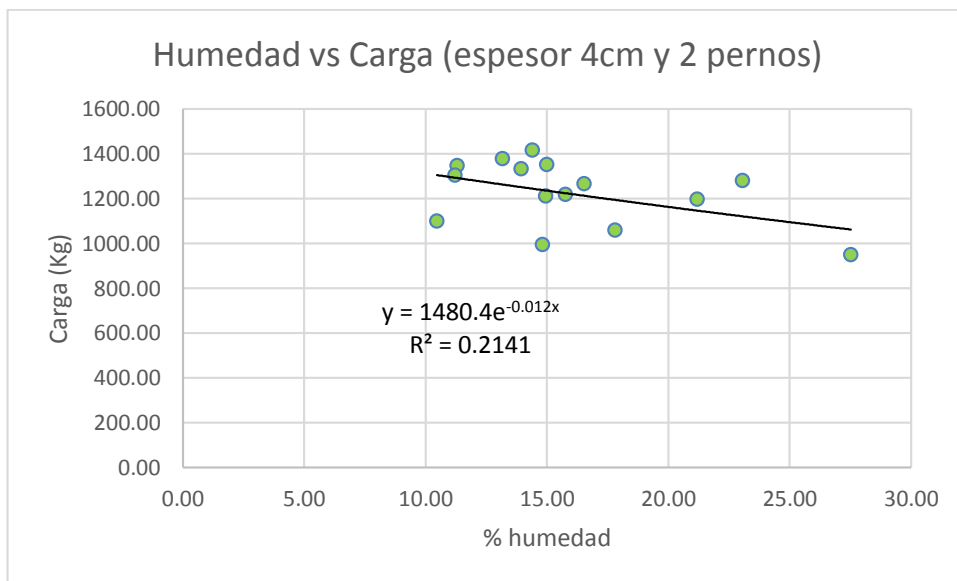
Gráfica Nº 6. 23- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 2 pernos



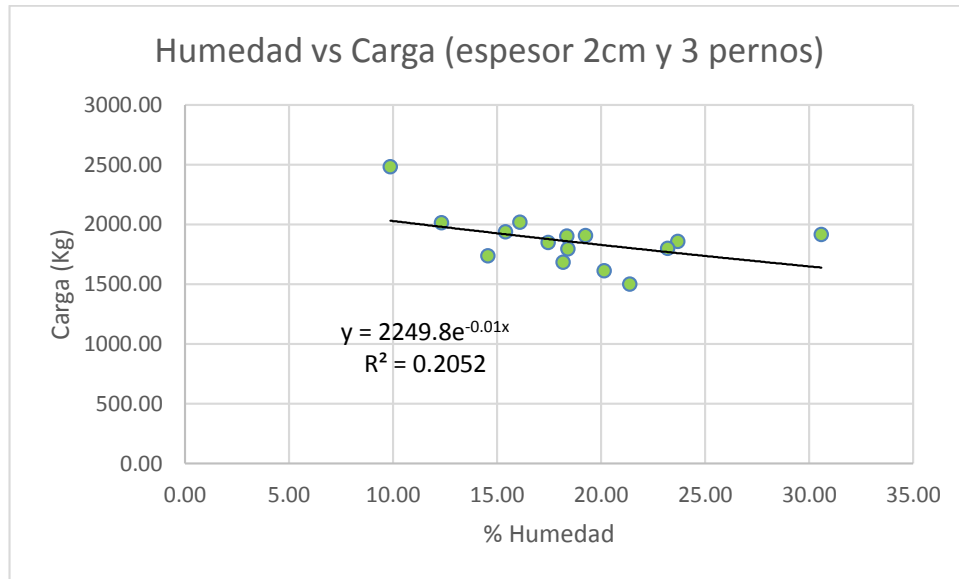
Gráfica Nº 6. 24- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 3 pernos



Gráfica Nº 6. 25- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 1 perno



Gráfica Nº 6. 26- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 2 pernos



Gráfica Nº 6. 27- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 3 pernos

Como se observa en las gráficas, hay una disminución de resistencia a medida que se tiene una mayor humedad.

CONCLUSIONES

- Se han obtenido valores de esfuerzo admisible menor a los que se encuentran en la norma E.010 para la madera tipo C, esto es compatible ya que la madera Cumala tiene una densidad menor a 0.40 gr/cm³.
- Los diagramas carga-deformación sufren fallas tanto en el rango elástico como inelástico. Esto se explica al tener en cuenta que la madera no es un material isotrópico y homogéneo sino un material compuesto por fibras.
- Todos los ensayos tuvieron como resultado una falla en corte de la madera debido a la interacción entre el perno y la madera.
- Los resultados de los diagramas carga-deformación muestran que los especímenes con un solo perno tienen más tenacidad que las que tienen 2 y 3 pernos. Esto es porque tienen un rango plástico mayor al no tener otro perno que le ayude a repartirse las cargas.
- Según el gráfico de tendencias, aumentar el número de pernos en una sola línea de carga es menos efectivo. Esto debido a que la distribución de cargas entre los pernos no actúa de manera repartida por igual.
- Debido a la distribución no uniforme de esfuerzos, solamente se pudo encontrar relaciones para un solo perno, y además la norma trabaja con factores de reducción lo cual implica esfuerzos proporcionales a estos factores.
- Se observa cierta relación entre la carga y el contenido de humedad que indica que a mayor humedad se tiene menor resistencia. Es la razón por la que se necesita una madera seca para una mayor resistencia.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar más investigación con respecto a la influencia del número de pernos y la influencia del coeficiente l/d sobre la resistencia de uniones empernadas, porque se observa que el espécimen mejora su capacidad aumentando el diámetro del perno.
- La presente tesis se limitó solo a ensayos de doble cizallamiento paralelos al grano, dando resultados razonables, para futuras investigaciones se recomienda realizar un procedimiento similar con la presente tesis para ensayos de doble cizallamiento perpendiculares al grano.
- Según la tabla 6.17 se observa que la variación entre la carga admisible por ensayos y carga admisible calculada según el manual de diseño del grupo andino tiene un valor máximo de 23.00% por lo tanto, no se recomienda utilizar el procedimiento de cálculo de la carga admisible del manual de diseño del grupo andino para maderas con densidad menor a 0.40 gr/cm³ como es el caso de la madera Cumala.
- A pesar de que se realizó una tendencia que disminuye la resistencia de la madera a medida que se tiene mayor humedad de la muestra, los valores por muestra no reflejan lo mismo, concluyendo para realizar esta tendencia más clara se recomienda realizar mayor cantidad de ensayos.

BIBLIOGRAFIA

1. Acuña, L., Díez Barra, M. R., & Casado, M. (2006). *Los ultrasonidos y la calidad de la madera estructural: aplicación a Pinus pinaster Ait.*
2. Álvarez, R. A., & Martitegui, F. A. (2003). *Estructuras de madera: diseño y cálculo.* AITIM.
3. Arrué Gardella, Hugo B. (1969). *Uniones empernadas de madera "Tornillo"*, Tesis para optar el Título Profesional, UNI-FIC. Lima.
4. ASTM International. (2006). Standard test methods for mechanical fasteners in wood. ASTM D1761.
5. Centeno, J. (1983). Normas de diseño para uniones clavadas con maderas venezolanas. *IFLA, Mérida.*
6. Delgado, G., & Gustavo, A. (1981). Propiedades de la madera. *Universidad Nacional de los Andes. Escuela de ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela.*
7. Déon, G. (1990). *Manual de protección de maderas en clima tropical* (No. 674.38 D418m). Jokohama, JP: Organización Internacional de las Maderas Tropicales.
8. Echavarría, C. (2007). Bolted timber joints with self-tapping screws. *Revista EIA*, (8), 37-47.
9. Espina Lizana, Alejandra Ivonne. Tesis: *Densidad básica de la madera de Eucalyptus globulus en dos sitios en Chile.*
10. Espinal, C. F., Martínez Covalada, H. J., Salazar Soler, M., & Acevedo Gaitán, X. (2005). La cadena forestal y madera en Colombia: una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005.
11. Espinosa, C. I., De la Cruz, M., Luzuriaga, A. L., & Escudero, A. (2012). Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
12. Faires, V. M. (1999). *Diseño de elementos de máquinas.* Limusa,
13. Fank, P., Stefani, P., & Piter, J. (2014). Resistencia y rigidez de tablas destinadas a la fabricación de madera laminada encolada estructural. Análisis comparativo entre el pino resinoso (*Pinus taeda/elliottii*) y el

- álamo (*Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'). *Jornadas de Salicáceas*, 18.
14. Garino, C. G. G., Mirasso, A. E., Storti, M. A., & Tornello, M. E. (2013). *Modelado de falla en uniones tipo clavija de elementos estructurales de madera sometidas a corte*.
 15. González, G. I. (2007). *Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).
 16. Hansen H.S. (1968). "Diseño Moderno De Estructuras De Madera". *Traducción Al Español Del Timber Engineering Hand Book*. Jhon Wiley And Sons Inc. New York.
 17. Junta del Acuerdo de Cartagena (1984). "*Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino*". Cuarta Edición. Lima.
 18. Keenan, F. J., & Tejada, M. (1987). *Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur*. CIID, Ottawa, ON, CA.
 19. Leal, L. E., Juárez, V., & Terán, M. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 19(2), 75-83.
 20. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (1981). *Evaluación del potencial forestal de la Selva Central del Perú*. Lima, Perú.
 21. Ministerio De Vivienda Y Construcción (2014). *Reglamento Nacional De Edificaciones*. Lima, Perú.
 22. Monteoliva, S., Nuñez, C., & Igartua, D. (2002, October). Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. In *Actas II Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Campinas, Brasil*.
 23. Norma ISO/22156:2004 Bamboo – Structural Design
 24. Norma ISO/22157:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties

25. Parker, H., Ambrose, J., & Juárez, R. A. (1972). *Diseño simplificado de estructuras de madera* (No. TA666. P37 1972.). Limusa-Wesley.
26. Pérez Calaz, Antonio (1966). "Las uniones en la madera estructural" 2da Parte – Informe N°24 – Centro De La Vivienda Y Construcción, Universidad De Chile. Santiago de Chile.
27. Perlin, J., de Linares, V. M. G. G., & Santamarta, J. (1999). *Historia de los bosques: el significado de la madera en el desarrollo de la civilización*. Gaia.
28. Pinchi Reategui, A. (2016). *Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera corta de cumala (Virola sp.), en cámaras de secado por aire caliente en inversiones la Oroza SRL Loreto-Perú*.
29. Quiñones, J. G. R., Windeisen, E., & Strobel, C. (2016). Composición química del duramen de la madera de *Quercus candicans* Neé. *Madera y Bosques*, 6(2), 73-80.
30. SERFOR. (2017). Nota de prensa: *La pérdida de bosques húmedos amazónicos peruanos en el 2015 fue de 156 mil hectáreas*. Lima Perú
31. SISMICA, A. C. D. I., Reglamento colombiano de Construcción Sismo, A. R. (2010). Resistente NSR-10. *Titulo G-Estructuras de madera y estructuras de guadua*. Bogotá, Colombia.
32. Solari Ruiz, Carlos C. (1971). *Estudio del comportamiento fisico-mecánico y de uniones empernadas de la madera apocynacea*. Tesis para optar el Título Profesional, UNI-FIC. Lima.
33. Tuset, R., & Duran, F. (1986). *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización:(aserrado, secado, preservación, descortezado, partículas)* (No. CIDAB-SD434-T8m). Hemisferio Sur.
34. Vargas A, Raúl A. (2003). *Diseño y ensayo de uniones para cerchas de madera*, Tesis para optar el Título Profesional, Universidad Austral de Chile. Valdivia.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

[33] [http://es.wikipedia.org/wiki/definicion de la madera](http://es.wikipedia.org/wiki/definicion_de_la_madera).

[34] [http://es.wikipedia.org/wiki/ madera con pernos](http://es.wikipedia.org/wiki/madera_con_pernos).

[35] <http://maderasperu.com/cumala>.

ANEXO

ESPECIMEN 01 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

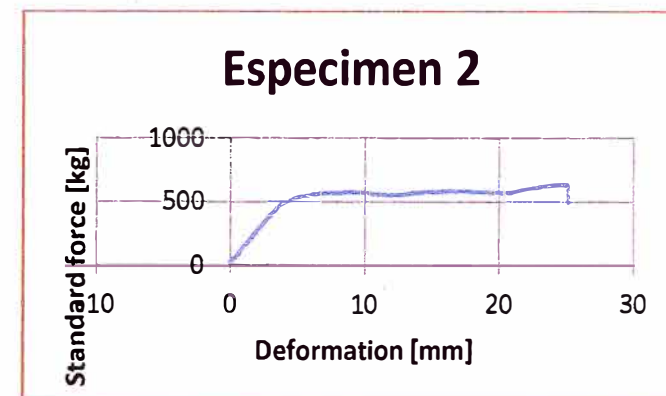
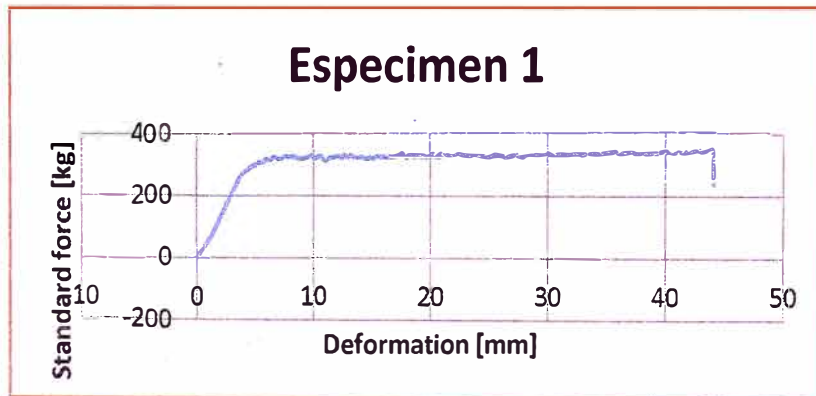
x(mm)	y(kg)
0	0.88674212
1.12475967	65.2983032
2.26737738	152.350332
3.38346076	239.75719
5.41638947	304.088636
8.07567406	324.550153
10.675807	324.922314
12.9528513	325.06621
15.5534916	325.132208
18.1944313	329.06887

x(mm)	y(kg)
21.0537701	332.64313
24.015337	326.729522
26.7434387	323.581995
29.7708759	329.545816
32.6021919	329.303111
35.4380989	333.950438
38.2120743	330.948922
41.1297417	335.951506
43.9110832	344.100149
44.0806618	237.530444

ESPECIMEN 02 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	26.661854
0.00212936	29.9445759
0.76545817	119.916473
1.45178354	204.765837
2.12221909	291.317163
2.78904343	372.793285
3.47798705	449.163383
4.47512007	508.168853
6.06109476	551.843627
7.99899101	564.608602

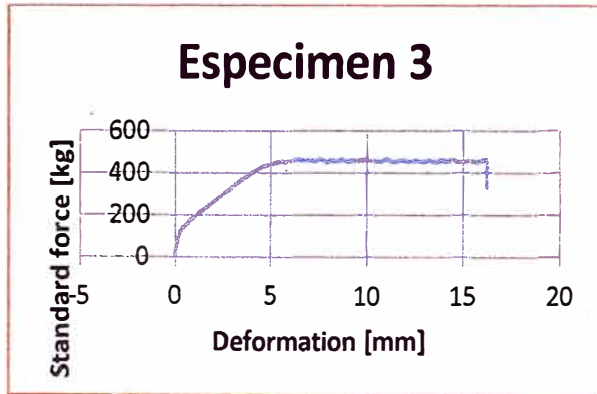
x(mm)	y(kg)
9.71013355	571.546357
11.5667744	550.117727
13.3835945	562.058714
15.3873596	573.193437
17.3087044	578.309246
19.1586285	575.146283
20.9777431	570.418445
22.5610905	605.830978
24.4509773	626.510704
25.122406	494.918716



ESPECIMEN 03 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	22.9937666
-0.00294523	8.35121765
0.35536623	136.059818
0.90652078	186.431534
1.54042435	232.632669
2.18038249	277.776124
2.83164525	323.138259
3.49027658	368.677501
4.22887087	413.142928
5.32201338	449.226219

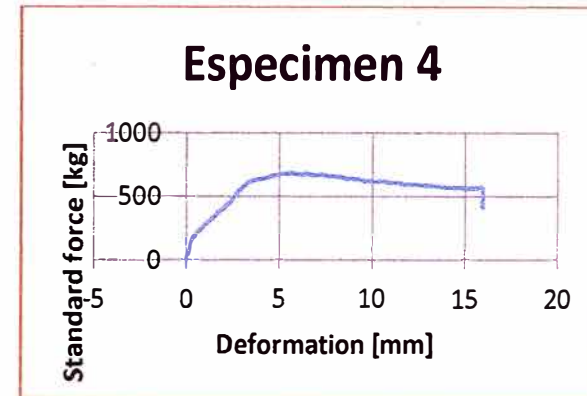
x(mm)	y(kg)
6.87062597	457.593717
8.02946758	455.132357
9.27202129	457.213763
10.8889561	461.25648
12.1117058	454.301547
13.4592905	451.389331
14.7023439	451.776256
16.1005497	458.996922
16.2375278	345.83521
16.2529259	392.857098



ESPECIMEN 04 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	17.7163198
-0.00736962	3.91977926
0.44024113	190.15707
0.97484803	276.072929
1.50585616	349.086825
2.05258727	419.331854
2.590307	507.109105
3.12918019	588.892984
3.94674063	634.997152
4.96025801	674.081809

x(mm)	y(kg)
6.25032854	673.750999
7.61806917	658.549958
8.71972084	636.256362
9.94541264	618.803979
11.0785341	605.595667
12.3415651	592.37879
13.5534925	577.387668
14.7609997	569.052334
15.9576902	546.552455
15.9655552	496.630774



ESPECIMEN 05 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

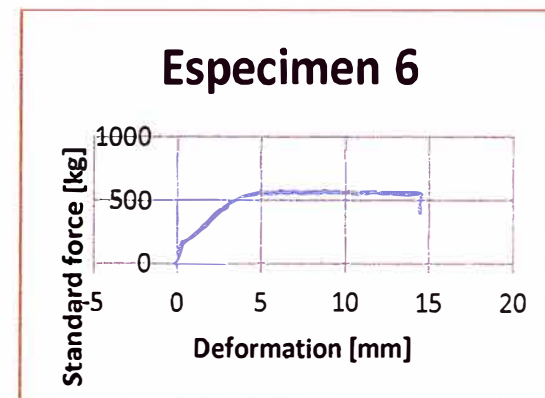
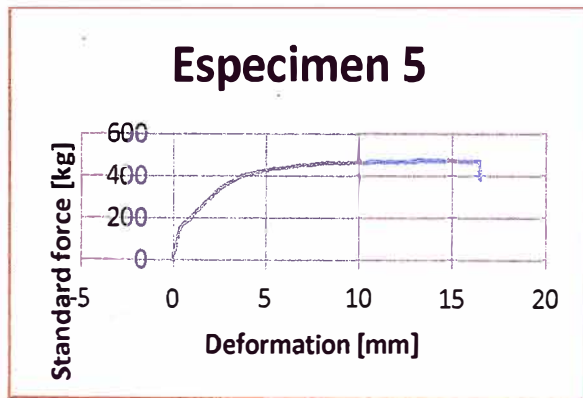
x(mm)	y(kg)
0	6.17165866
-0.00606421	2.72618141
0.24673866	108.679554
0.80034977	187.02865
1.29711485	236.303324
1.79895103	279.45405
2.30849528	324.138432
2.91781926	363.319584
3.68523455	399.991278
4.90831137	424.76951

x(mm)	y(kg)
6.21230459	440.801759
7.48043776	454.664373
8.78918648	463.879212
10.1877289	461.603771
11.5980644	467.574538
12.9068155	467.573891
13.7283096	472.770211
14.9924946	470.672175
16.3697281	467.549543
16.5104847	381.92821

ESPECIMEN 06 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	4.24106587
0.00851631	17.8390713
0.42368355	173.358241
0.99760377	232.072099
1.54975832	291.594249
2.08419156	365.148227
2.64911127	428.91385
3.25187922	485.466276
3.94804406	533.531257
5.0249691	555.937927

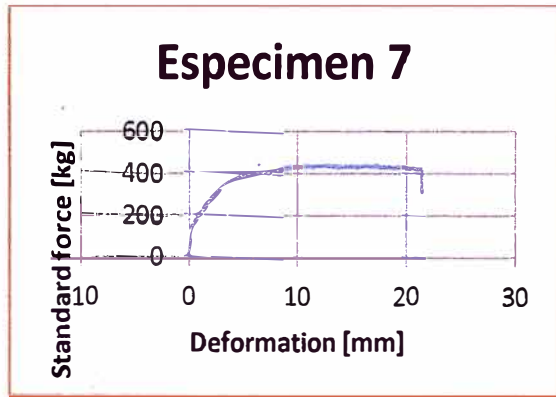
x(mm)	y(kg)
6.28260231	565.426914
7.46028471	560.81952
8.53752995	567.330816
9.66655636	560.55279
10.7457695	555.340387
11.7542038	560.633899
12.92418	553.921398
14.0076551	556.705204
14.5168724	476.111126
14.5306387	446.189277



ESPECIMEN 07 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	5.2426201
0.00737037	21.2173776
0.35682908	150.169145
0.9864763	200.04065
1.64396226	248.451789
2.30029726	294.709089
3.04053307	339.869372
4.25327635	376.799381
5.88709545	401.828335
7.47240734	414.519918

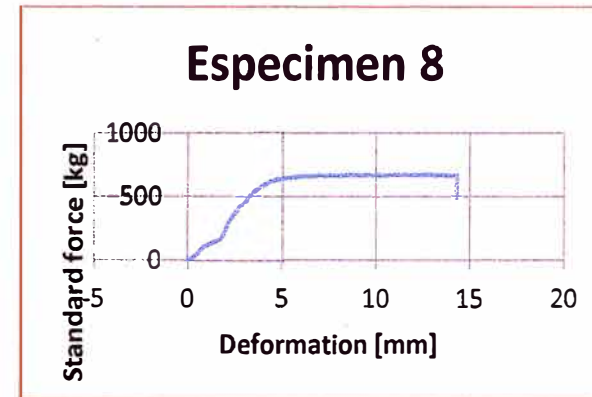
x(mm)	y(kg)
8.73888874	420.700653
9.76534557	428.285838
11.3527927	430.317603
13.0408411	434.610917
14.755085	432.197954
16.6541672	432.295145
18.5651932	427.72833
20.6361294	422.071943
21.4151955	368.185268
21.4279766	335.720153



ESPECIMEN 08 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	7.00678042
0.10124701	12.2440087
0.61472052	74.3473137
1.17047048	131.803387
1.79748464	180.933344
2.28671384	329.53907
2.77659535	424.304514
3.2730248	499.181708
3.77749348	565.755036
4.3764925	618.443145

x(mm)	y(kg)
5.40294838	645.690729
6.54982567	656.092034
7.61741257	661.255492
8.75658894	664.289198
9.89592934	662.731989
11.0842609	668.404111
12.3322296	667.137731
13.4148874	664.588142
14.3209257	616.564039
14.3251867	575.117853



ESPECIMEN 09 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

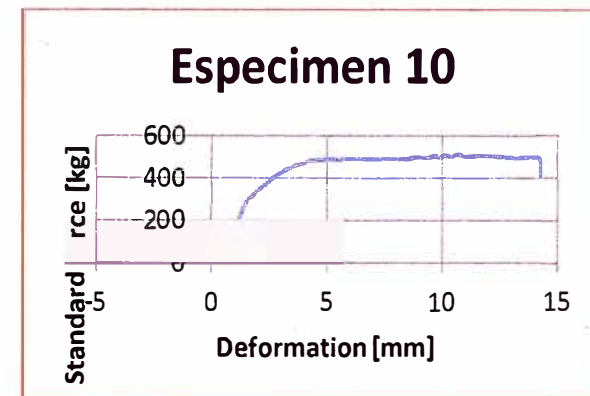
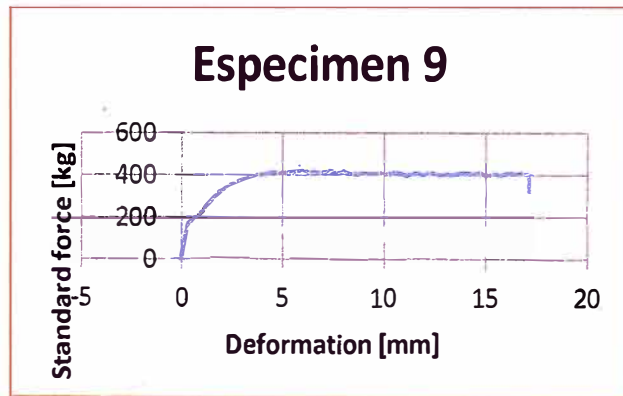
x(mm)	y(kg)
0	19.5115671
-0.00393079	2.45889956
0.25395143	151.812616
0.78593636	208.391282
1.28892732	261.966664
1.76881623	311.983943
2.42072749	352.819146
3.29563737	388.966741
4.49362946	413.833452
5.7761755	417.585938

x(mm)	y(kg)
7.01120138	410.033789
8.11056805	414.746516
9.24221134	404.385791
10.5283546	410.905229
11.6735973	409.154409
12.7885313	400.746729
14.2296658	405.70973
15.2951174	401.585281
16.6015759	405.491123
17.1456928	336.350629

ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	12.3156562
-0.01409042	7.86165786
0.26771119	78.2920358
0.75022334	154.209335
1.23600221	219.26413
1.69393957	309.398654
2.15728021	355.842644
2.65124583	399.355872
3.23010325	439.134314
4.05503273	473.829212

x(mm)	y(kg)
5.26155138	488.070286
6.50379181	490.17599
7.72079182	489.150697
8.96580982	497.470247
10.0047216	501.124944
10.8553782	505.837248
11.9449177	503.545774
13.0985022	497.687933
14.2373667	499.229357
14.2668619	405.247198



ESPECIMEN 11 – ESPEJOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

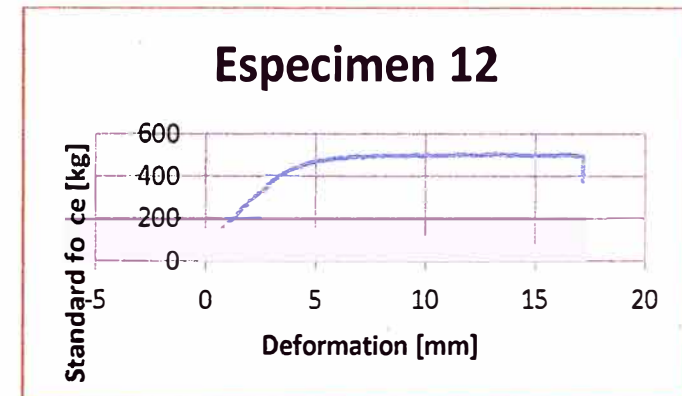
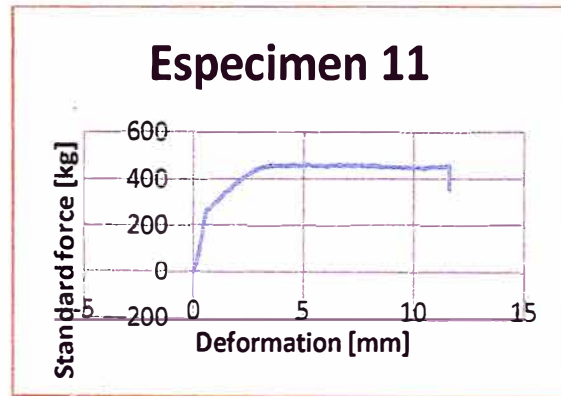
x(mm)	y(kg)
0	-0.55264472
0.08502525	20.0540195
0.4217169	170.466888
0.8103506	278.215652
1.16309571	312.781866
1.57973003	348.485775
1.99671459	383.413894
2.44973421	414.704593
3.02317476	442.669662
3.74849224	454.240703

x(mm)	y(kg)
4.58390856	455.361893
5.48076868	454.344915
6.26522732	456.774608
7.18208838	456.975912
8.03601742	456.790641
8.88634586	451.569973
9.68982124	446.598906
10.5313034	443.420409
11.3441143	448.996036
11.6169119	351.536385

ESPECIMEN 12 – ESPEJOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	21.6300549
-0.01130536	7.62992667
0.42810822	107.45455
0.97336841	171.261711
1.53288531	231.146538
2.10747147	289.183477
2.68336868	340.129206
3.26762176	392.364642
4.03308439	436.323821
5.14998007	471.502586

x(mm)	y(kg)
6.54737186	489.560526
7.94197369	495.70805
9.35886192	498.822815
10.6099434	498.548518
11.9265623	499.412488
13.0963869	504.938772
14.2078762	499.565246
15.6440983	497.515358
17.1748543	490.821927
17.178133	425.508307



ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

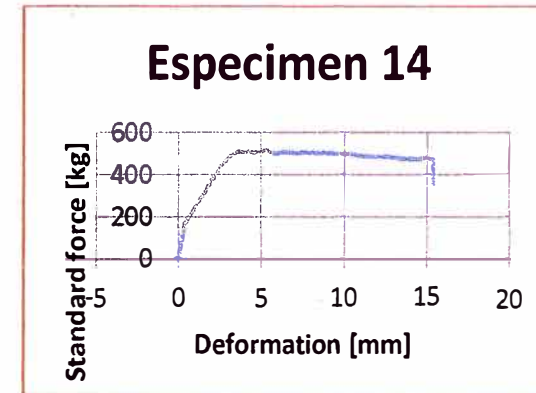
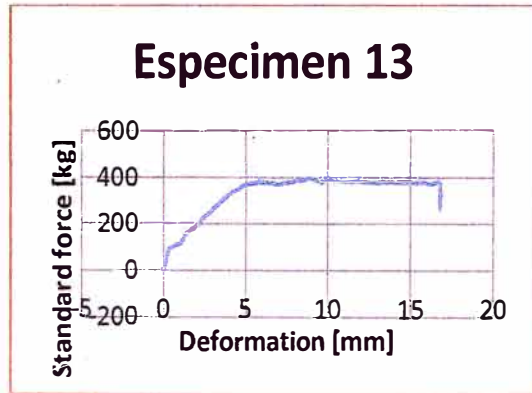
x(mm)	y(kg)
0	2.12568162
0.01130591	3.29776342
0.35749817	93.2625453
1.17178357	131.223361
1.80551016	179.038479
2.3958292	223.544324
3.02660465	264.573288
3.66050124	306.23945
4.39647627	344.210187
5.38247013	371.248226

x(mm)	y(kg)
6.57063246	375.38689
7.80779505	381.148411
9.12834549	390.137025
10.3500929	386.683782
11.7586222	384.416208
13.1506147	379.841227
14.4768896	377.848001
15.725358	377.905111
16.8001537	371.918684
16.7998295	265.469573

ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	10.2671439
0.00917786	4.71673285
0.28704098	132.060419
0.79904604	220.154689
1.28548861	283.15443
1.78208768	350.163004
2.32095194	409.855488
2.84605765	466.948219
3.53664613	508.832664
4.68434525	505.766545

x(mm)	y(kg)
5.83860064	498.682505
7.08837032	499.868224
8.33240795	501.384803
9.57300568	498.561115
10.7742786	490.735042
12.0664759	483.352257
13.1778097	479.269408
14.3913774	471.015134
15.444705	454.176523
15.4396238	410.47887



ESPECIMEN 15 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

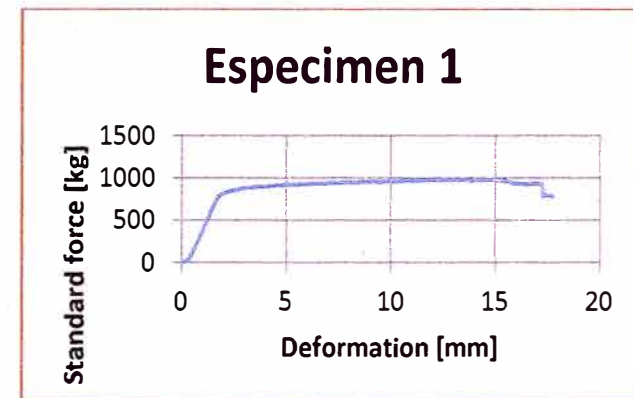
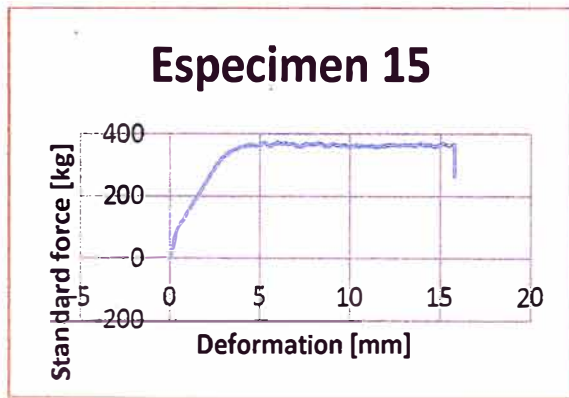
x(mm)	y(kg)
0	0.91003849
0.15449946	28.4124778
0.5953939	108.850847
1.04185843	152.518202
1.52960384	198.234848
1.99638546	242.152153
2.45792317	286.602221
3.02579427	327.953281
4.03636074	358.694738
5.37657213	367.046104

x(mm)	y(kg)
6.5304966	368.086807
7.74242115	367.571273
8.93517208	363.647656
10.1677408	361.479066
11.4687958	357.590327
12.7290506	362.826132
13.9975014	367.079066
15.0686893	366.666773
15.8099051	319.465663
15.8144922	311.913688

ESPECIMEN 1 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	2.99199306
0.56671369	143.937624
1.07298505	413.435872
1.57858503	698.523033
2.09681988	826.443992
2.69745159	864.592382
3.57022309	892.025337
4.61766243	906.807239
5.66721964	920.572113
6.77249002	931.447825

x(mm)	y(kg)
7.8867631	944.059145
9.00398636	951.265073
9.9888258	959.607129
11.1111326	970.943406
12.2791519	972.178617
13.5672626	971.791045
14.9615393	969.871309
15.7920446	934.361286
16.9061527	927.494234
17.7122402	778.816224



ESPECIMEN 2 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

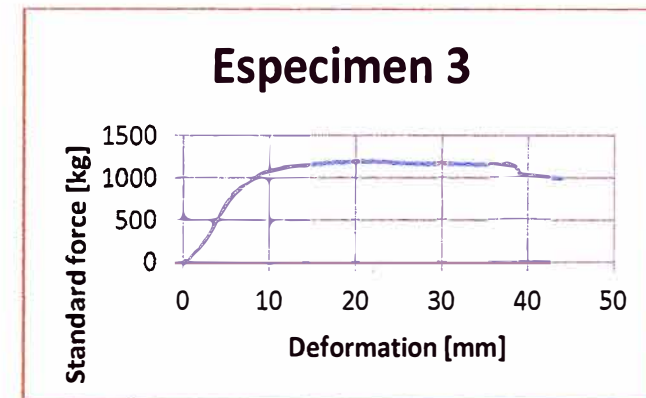
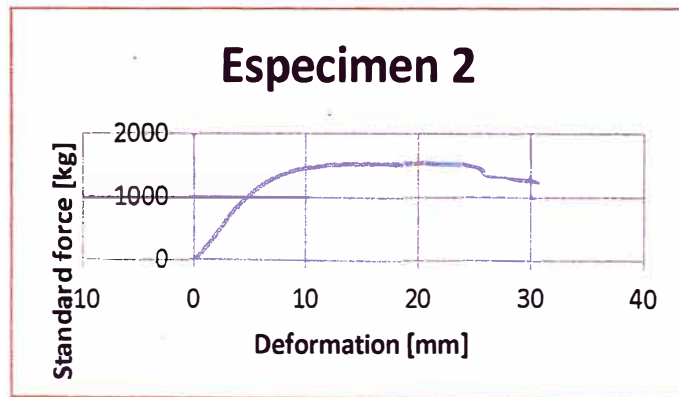
x(mm)	y(kg)
0	3.10503342
1.16490221	208.850602
2.33750224	483.788773
3.51059794	764.007236
4.68418121	973.081523
5.86529636	1151.87313
7.08393955	1286.08571
8.45414448	1387.1363
10.105485	1455.51793
12.1176081	1509.892

x(mm)	y(kg)
14.0042171	1521.73605
15.9411364	1520.36431
18.0251827	1517.129
19.9964962	1541.63246
21.8757534	1516.7013
23.7441769	1506.76942
25.5326519	1457.18781
27.1654854	1328.00261
28.8586063	1270.09389
30.6842709	1235.0283

ESPECIMEN 3 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	4.29432573
1.75422299	160.047845
3.17341232	356.669944
4.59292555	622.212809
6.0253706	830.251397
7.52860641	948.947012
9.28185654	1056.44332
11.7764854	1124.50938
14.5691299	1151.9267
17.1302834	1174.05843

x(mm)	y(kg)
19.8231583	1188.73527
22.5361862	1186.00813
25.2008781	1170.93654
28.0772514	1162.68172
30.9082413	1163.95637
33.6520691	1158.80909
36.298748	1151.03923
38.7602768	1084.95017
41.2136116	1016.20666
43.9263153	986.95783



ESPECIMEN 4 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

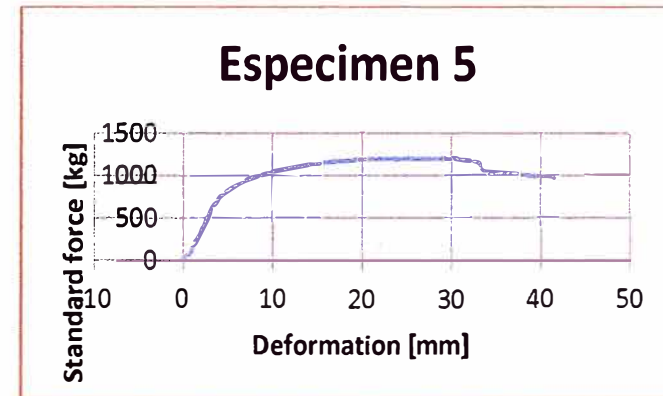
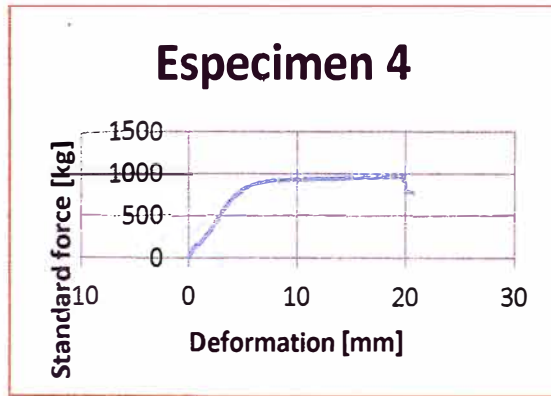
x(mm)	y(kg)
0	8.01288584
0.670748	140.488961
1.38919783	230.807039
2.10730696	350.48667
2.82574034	493.444758
3.5445056	632.585036
4.26311731	736.500342
4.99695206	807.778057
5.94000626	863.81435
7.12015533	897.823181

x(mm)	y(kg)
8.54424572	921.431304
10.0081558	926.288897
11.3298635	931.428307
12.8176956	941.481175
14.1346264	947.185711
15.6390104	951.333088
17.0173912	956.255409
18.333847	962.435447
19.4705696	967.9216
20.7010078	775.706886

ESPECIMEN 5 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	33.8340769
1.27647233	207.160564
2.62667274	498.465218
3.97638893	734.317412
5.46716833	861.24365
7.35640144	954.297833
9.55416203	1031.34486
12.0230684	1090.55881
14.496397	1130.49703
17.0044575	1164.51422

x(mm)	y(kg)
19.5687084	1182.68529
22.0843105	1194.99806
24.6841297	1193.61039
27.1433678	1197.73347
29.5713024	1195.20768
31.8549137	1166.58004
33.9658356	1042.22914
36.4930534	1027.25365
38.8959312	997.174012
41.5034561	969.070474



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

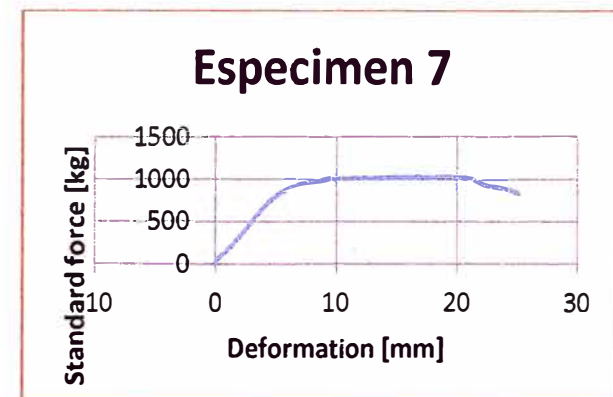
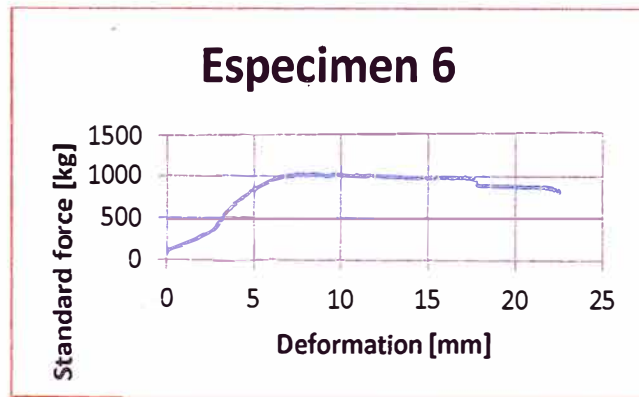
x(mm)	y(kg)
0	74.3929967
0.69106334	167.023528
1.54565561	242.810413
2.39303732	320.954931
3.23959804	513.783616
4.08599186	698.455666
4.9335413	826.900873
5.78829002	932.808708
6.87373877	999.180284
8.18772984	1011.95213

x(mm)	y(kg)
9.49731255	1011.78404
10.842597	1006.9832
12.3728657	997.900062
13.8888674	981.962614
15.4415789	984.27022
16.8411045	974.644657
18.1524868	892.41032
19.7258434	878.524255
21.1933537	873.04567
22.5230732	812.356772

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	8.00225006
0.74693716	141.770142
1.66689277	277.66865
2.58620429	437.724238
3.50452399	603.031389
4.42382813	739.254322
5.37852383	841.273145
6.46887922	916.044633
7.90100479	972.161787
9.44110298	1006.05749

x(mm)	y(kg)
11.2715263	1008.08308
12.809494	1008.3173
14.517849	1021.33113
16.10186	1025.54294
17.8085804	1023.48578
19.4435425	1029.58545
21.0514679	1017.45133
22.2776489	939.154251
23.8793411	893.760448
25.1165047	828.453052



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

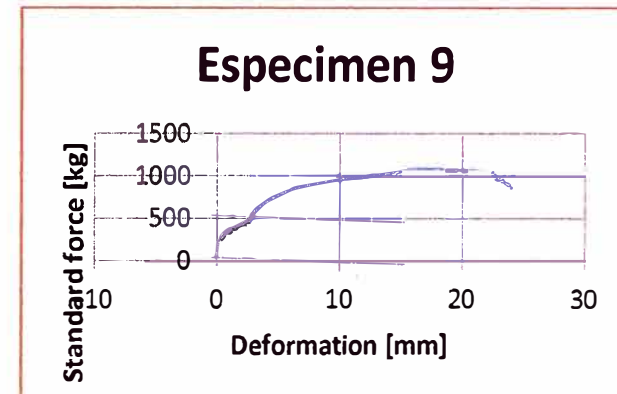
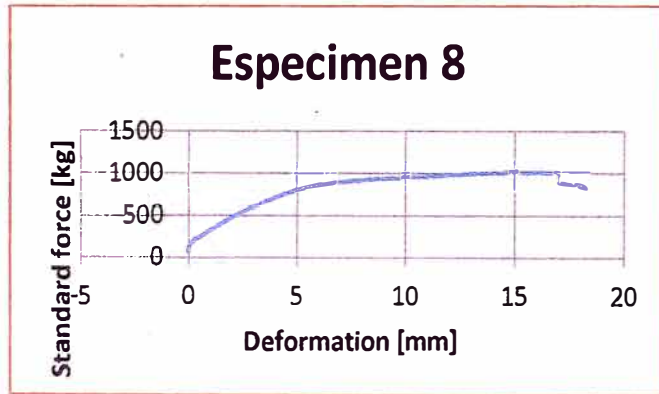
x(mm)	y(kg)
0	89.6776615
0.48037285	242.903472
1.14229143	343.035621
1.80517507	445.700629
2.46710134	538.318744
3.13507485	616.753095
3.79632974	689.336973
4.46938753	757.103986
5.16242647	811.228711
5.99097061	860.842336

x(mm)	y(kg)
7.06870222	897.352359
8.26554871	923.857711
9.57414627	940.824733
10.7107048	962.175041
11.9975004	980.490698
13.3008461	996.56278
14.7332983	1007.94008
15.9987984	1012.18376
17.2636452	864.780691
18.2827377	811.214371

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	58.7457427
0.00720443	66.4939615
0.86702955	323.630541
1.75504935	396.545279
2.69433999	471.921477
3.56908059	652.293342
4.46496201	733.179094
5.51222563	803.569985
6.59292126	864.486825
8.1305542	911.825059

x(mm)	y(kg)
9.75862789	949.529664
11.3691721	980.819218
13.094738	1002.22499
14.7734413	1044.52878
16.3572845	1072.38127
18.0609016	1072.16269
19.6244202	1067.93525
21.4648361	1051.25761
22.9739609	958.470205
23.9529114	861.811564



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

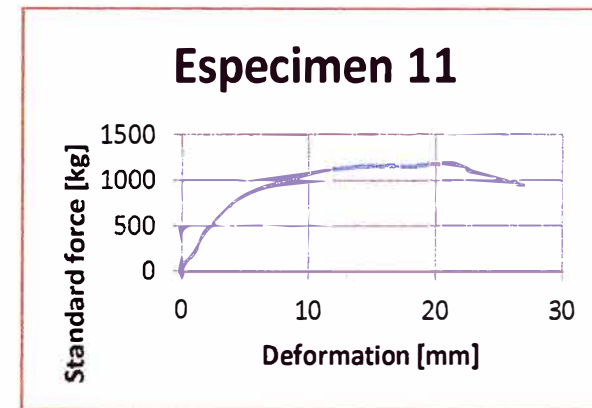
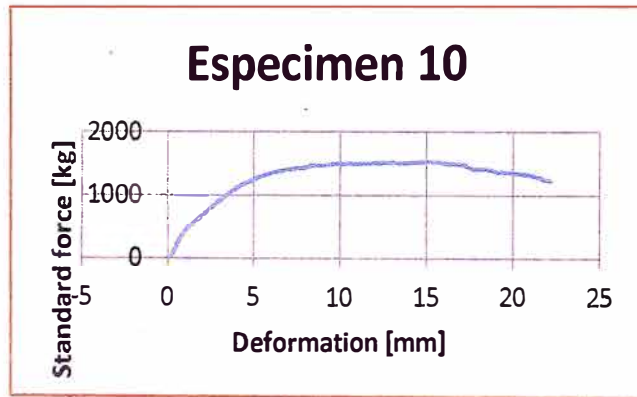
x(mm)	y(kg)
0	4.81751727
0.77987432	349.659071
1.61578131	587.287977
2.45333219	785.933574
3.28940701	970.784274
4.12696171	1128.85403
4.96630907	1241.76609
5.84416246	1330.71313
6.87078571	1395.06698
8.11531544	1446.70545

x(mm)	y(kg)
9.53712463	1485.12784
11.2004242	1498.0856
12.871419	1508.26056
14.4369173	1515.53012
15.9491587	1503.11328
17.3214893	1456.33221
18.6364689	1398.89211
19.8782082	1351.57041
21.1561546	1303.30477
22.1678772	1221.78075

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	18.1324886
0.7847901	162.300532
1.74145412	415.459944
2.6953187	571.431738
3.64986277	708.370862
4.6643548	813.537611
5.79337072	891.237845
7.17176294	950.056053
8.4957571	1012.79688
9.94917202	1069.45516

x(mm)	y(kg)
11.5844679	1119.18196
13.5220299	1141.99104
15.3190289	1158.87123
17.2539845	1149.07588
19.0580273	1168.69785
20.9754467	1182.46422
22.4539318	1123.45889
23.9656925	1059.92729
25.3670158	995.144538
26.9403667	946.781708



ESPECIMEN 12 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

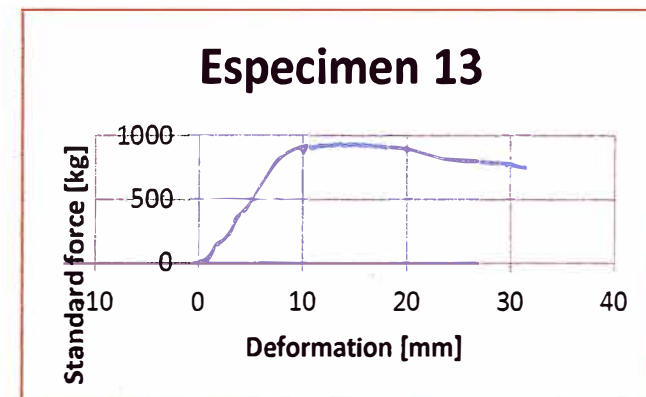
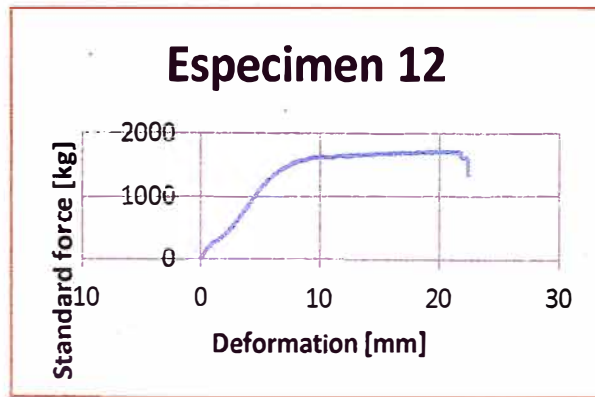
x(mm)	y(kg)
0	6.90300544
0.83967853	229.382473
1.76913369	358.690929
2.67255282	526.968078
3.57547641	746.736042
4.48036575	985.598042
5.38311338	1196.30915
6.28653669	1352.66929
7.24385786	1466.54869
8.28390789	1553.4554

x(mm)	y(kg)
9.70489502	1606.53013
11.1088371	1621.61775
12.5506248	1643.8376
14.0514078	1659.99294
15.3847275	1669.31069
16.7873688	1682.18162
18.2676544	1695.97727
19.6684952	1708.58909
21.1861401	1698.76117
22.4154396	1350.75553

ESPECIMEN 13 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	5.98236714
1.47832298	111.548701
2.63831139	196.285263
3.75799084	357.770022
4.84376049	462.111289
5.88512707	607.022523
6.93222046	741.984204
8.10515404	843.567108
9.72520733	901.403241
11.6629429	919.686733

x(mm)	y(kg)
13.7214298	925.923333
15.6178722	924.382008
17.6642361	911.868178
19.7554932	892.955032
21.6645489	862.867827
23.4163342	815.820321
25.415184	800.336767
27.58885	793.881884
29.5169201	776.23686
31.4317207	745.124362



ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

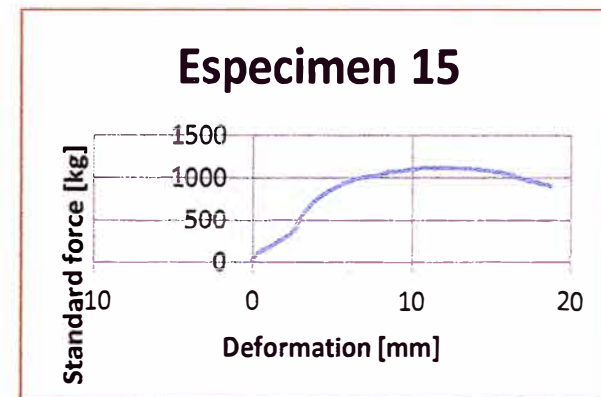
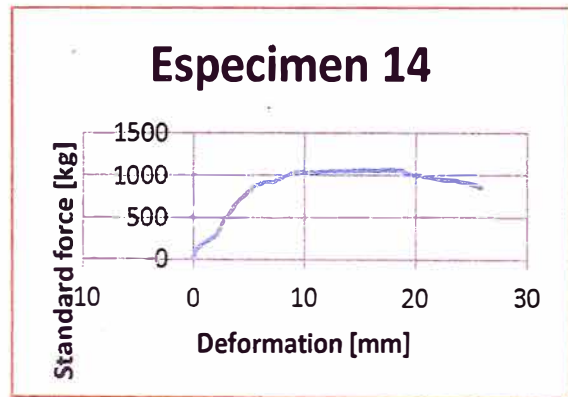
x(mm)	y(kg)
0	20.279323
0.75022	175.103734
1.66280246	253.635039
2.57687283	431.017911
3.48929143	605.619218
4.39992142	745.834728
5.32118607	848.128247
6.48085308	915.944354
7.83924341	955.577159
9.06312561	1021.49763

x(mm)	y(kg)
10.6399221	1038.90211
12.5054054	1047.80979
14.3374701	1051.98874
16.0550079	1057.64458
17.8847656	1061.37222
19.3935661	1010.37067
21.1473083	976.354175
22.8181572	938.44015
24.4919472	912.894766
25.8976936	852.138899

ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	17.7754075
0.54083151	142.341417
1.28055954	219.638856
2.0185051	301.486218
2.7577517	437.158564
3.49699426	662.860002
4.23640108	789.899066
4.97843599	875.514997
5.78452349	942.443831
6.73349094	996.236749

x(mm)	y(kg)
7.91657591	1034.49722
9.10835648	1073.99419
10.3423882	1111.55251
11.8380899	1118.24111
13.2300682	1109.53568
14.5088501	1088.97725
15.7486191	1058.55216
16.7301826	997.987992
17.7368202	946.986846
18.6970787	896.551822



ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

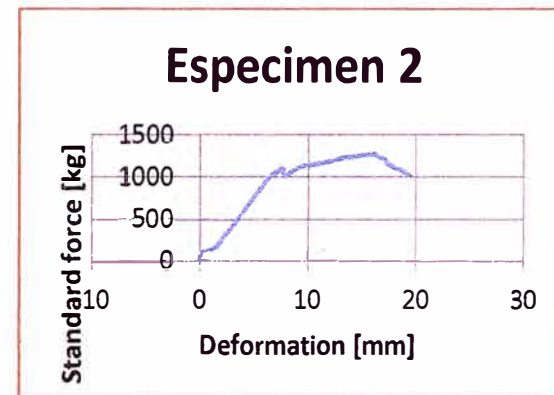
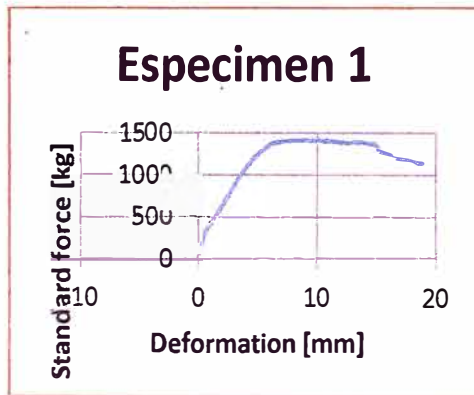
x(mm)	y(kg)
0	6.44058399
0.2367443	133.093007
0.94191217	401.874018
1.6459316	553.174785
2.35125971	717.829328
3.05577326	886.852867
3.76078033	1040.37164
4.48002768	1171.62276
5.24500465	1280.06719
6.05355549	1369.3054

x(mm)	y(kg)
7.24385738	1401.30697
8.68073082	1412.47336
10.0320864	1415.32966
11.3405104	1399.0147
12.7785311	1382.12684
14.1557732	1380.77223
15.1894398	1294.91402
16.2596436	1222.70855
17.5646267	1185.78616
18.8555222	1135.92244

ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	33.0860568
0.16728108	84.1205878
1.1544162	158.730193
1.98213351	266.452768
2.76529169	387.933905
3.54892898	516.44872
4.33094406	652.52467
5.11492252	793.071737
5.91626263	922.990454
6.74643803	1035.57897

x(mm)	y(kg)
7.82761955	1006.17032
8.8155632	1092.37368
10.0907421	1135.32355
11.6498423	1174.48842
12.9962797	1215.84
14.4778843	1243.33699
16.0409184	1264.99391
17.1869812	1188.07724
18.3680897	1083.13649
19.5067825	1013.1259



ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

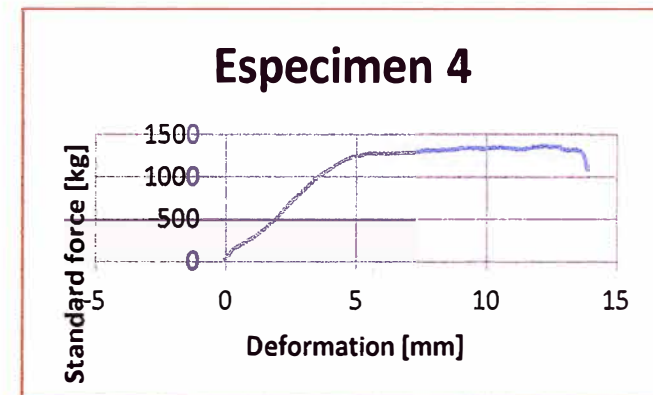
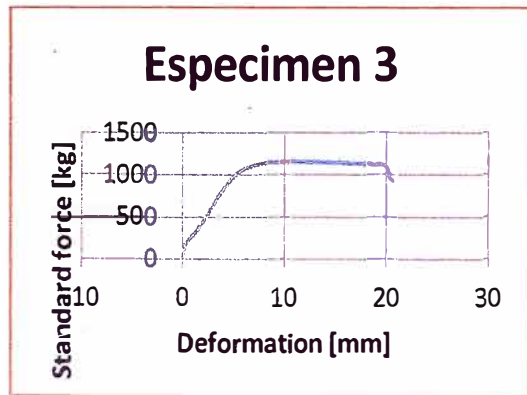
x(mm)	y(kg)
0	27.9766027
0.1715374	104.392495
0.92143041	271.161412
1.66116714	387.574216
2.39877701	523.738197
3.1357336	671.391611
3.87464976	808.87231
4.62798452	927.334007
5.42162657	1024.54304
6.53999472	1088.14773

x(mm)	y(kg)
7.91412401	1139.10875
9.43111992	1149.60625
10.9777699	1156.10186
12.5507927	1150.381
14.0179815	1147.35551
15.3060942	1150.11422
16.7229805	1138.9072
18.2173653	1128.17667
19.6575184	1111.28085
20.6767693	927.385789

ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	29.6338313
0.39992803	166.661599
0.93568039	260.289011
1.47029495	381.211421
2.00293779	536.932667
2.53803301	715.644307
3.07134366	872.874589
3.60643744	1019.4326
4.14252472	1127.34049
4.72153664	1220.63138

x(mm)	y(kg)
5.55695629	1275.2314
6.50705862	1280.16139
7.49715281	1300.59904
8.50590992	1315.88163
9.49927425	1341.14411
10.4454527	1343.28959
11.4941797	1330.15437
12.3422279	1357.55526
13.1864977	1311.71743
13.857913	1088.44369



ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

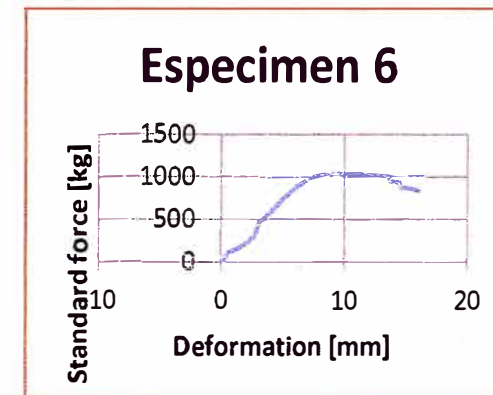
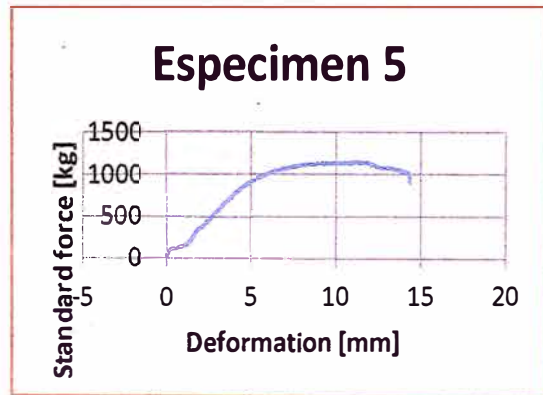
x(mm)	y(kg)
0	12.1415812
-0.0057333	9.38984815
0.78331649	128.762823
1.38214004	205.704095
1.9459244	354.924003
2.51461172	463.978445
3.07920098	579.816215
3.64461994	696.069191
4.21215534	802.752021
4.7818327	890.480726

x(mm)	y(kg)
5.42834473	956.094784
6.12843323	1023.47572
7.06723595	1073.54876
8.00127792	1108.34807
9.19993973	1129.27038
10.342885	1132.50758
11.5551367	1135.28242
12.441186	1089.25936
13.5053234	1056.45169
14.3602409	910.645515

ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	6.27506799
0.62766713	112.181779
1.41589808	167.516682
2.07060432	229.9593
2.68254876	311.217811
3.32774949	489.960545
3.94689775	577.302027
4.55147123	675.947123
5.17619467	772.157497
5.80746603	854.665484

x(mm)	y(kg)
6.48609066	931.324941
7.31496143	994.131493
8.40564156	1028.31838
9.54415512	1037.79038
10.6502419	1031.27894
11.7686214	1026.32545
12.9613791	1014.76342
13.9149218	938.039633
14.9131985	867.391822
16.0079803	830.502642



ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

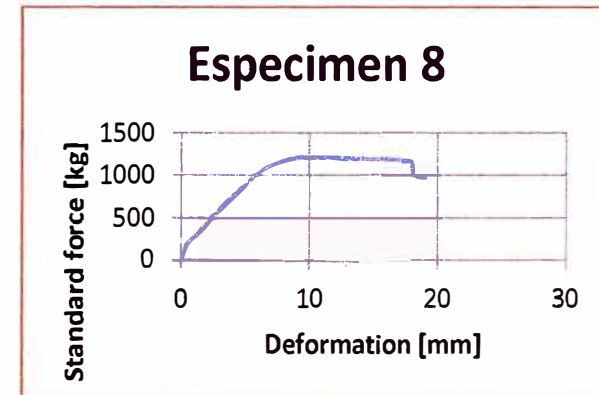
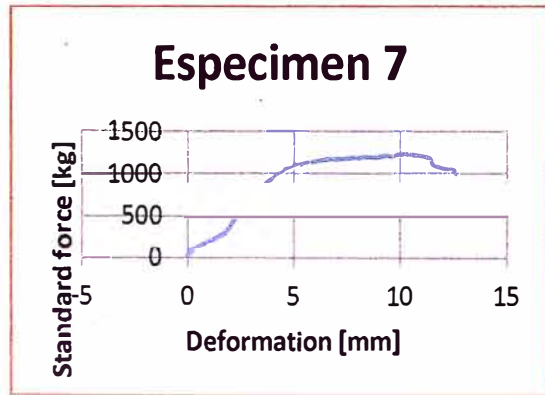
x(mm)	y(kg)
0	12.6178212
0.3959946	124.696816
0.89161533	181.758701
1.38526547	243.515327
1.87776577	338.054173
2.37043023	522.194382
2.86195397	665.548159
3.3551147	798.970806
3.84744811	917.230452
4.3489666	1015.37565

x(mm)	y(kg)
4.88848734	1078.36832
5.55514383	1127.71581
6.47822666	1163.62904
7.52253723	1178.36165
8.51312065	1190.94927
9.51024914	1205.90853
10.391057	1219.66533
11.283164	1186.706
11.8969107	1067.87281
12.6202621	982.058113

ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	9.26970521
0.58982223	217.058745
1.29285657	315.164282
1.99491131	424.171423
2.6966424	546.369175
3.40671778	653.163088
4.11909819	761.79259
4.82787132	865.553345
5.57824945	969.032732
6.35534716	1057.66728

x(mm)	y(kg)
7.22942591	1129.87952
8.36254501	1178.9453
9.68556309	1207.40345
11.0372438	1201.23187
12.4433165	1197.65729
13.8787174	1190.50006
15.253994	1183.44828
16.5961685	1185.12653
17.9403038	1162.1396
19.0686779	969.655616



ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

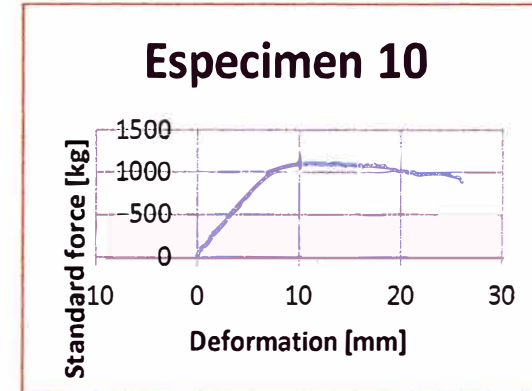
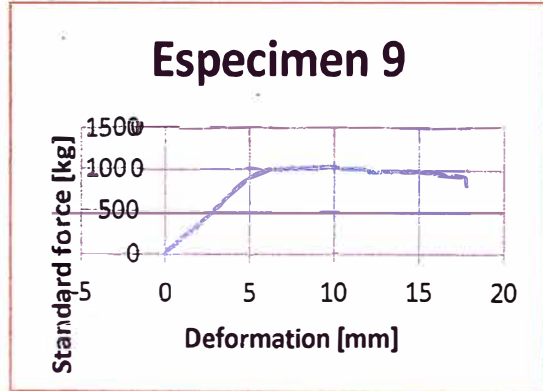
x(mm)	y(kg)
0	18.7420731
0.1001054	39.8974767
0.73957074	145.666747
1.37887323	248.000211
2.01850677	350.067804
2.65846038	464.891858
3.29809618	593.253864
3.93690801	717.978501
4.59062862	842.766173
5.28760433	933.325636

x(mm)	y(kg)
6.17561483	997.029818
7.43161821	1020.87206
8.71169567	1026.8841
10.0673084	1021.68644
11.2967644	1010.94008
12.648283	984.55592
14.0442009	986.306466
15.412261	977.333959
16.6802158	944.809493
17.7958031	822.283072

ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	9.8143111
0.36912972	92.9999111
1.3441416	228.978769
2.32013297	370.540424
3.28269339	508.133053
4.26983213	638.246054
5.25647402	773.257227
6.33191633	895.689345
7.50697803	1004.84867
9.11441898	1081.78138

x(mm)	y(kg)
10.9297609	1106.45602
12.6771126	1091.63439
14.4187336	1081.80578
16.2104874	1071.12365
17.8439713	1069.17972
19.4235573	1017.75714
21.1140575	996.247803
22.7765388	978.166163
24.5966434	974.302793
26.0315475	888.242628



ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

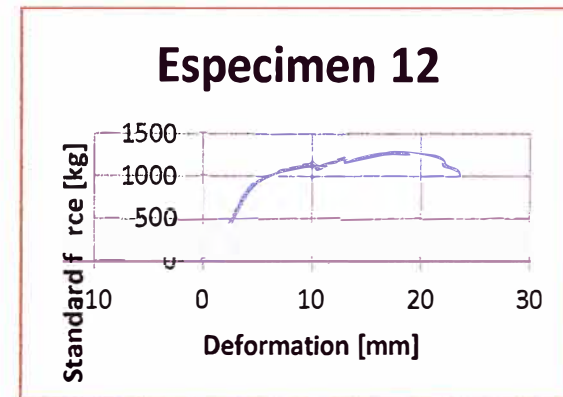
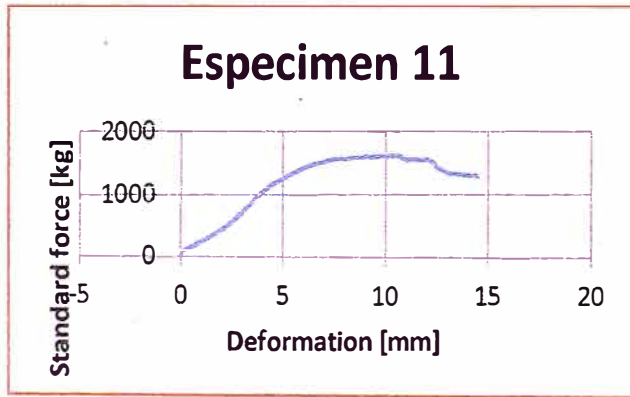
x(mm)	y(kg)
0	27.147937
0.01327028	47.1874051
0.65305966	197.483019
1.27991259	302.317526
1.9052875	423.991927
2.52935672	574.428748
3.1550653	768.79333
3.77945566	975.00106
4.40401316	1135.50837
5.05593634	1259.12556

x(mm)	y(kg)
5.72555017	1367.64099
6.41498899	1459.80004
7.22140598	1534.62749
8.30471706	1573.84862
9.4948473	1594.93156
10.7501965	1591.32341
11.7730436	1550.50688
12.5396528	1419.11117
13.3044577	1330.7917
14.4541216	1290.24105

ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	25.4159334
0.23133959	73.8186159
1.08592796	175.216311
1.93395233	324.080451
2.78167534	509.462568
3.63019848	716.735772
4.48937702	878.560005
5.54204464	977.377476
6.85914707	1051.29316
8.41350937	1105.93242

x(mm)	y(kg)
9.90560055	1140.27316
11.2295885	1138.61104
12.6538544	1198.28655
14.0478001	1206.11257
15.6237764	1257.76777
17.0994873	1275.22025
18.8551979	1272.79195
20.7585258	1249.03844
22.2114544	1116.33522
23.5618286	1022.63445



ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

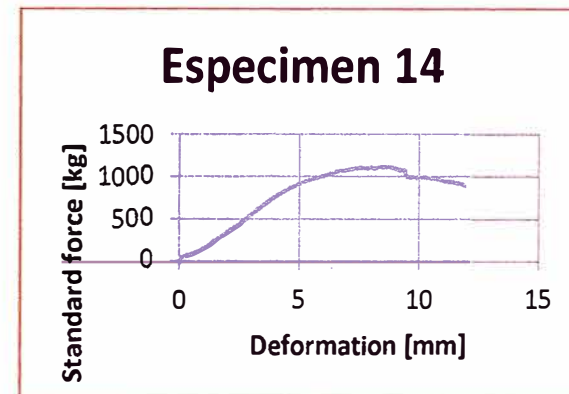
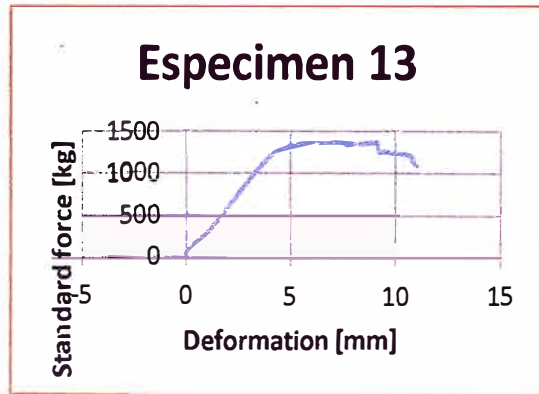
x(mm)	y(kg)
0	31.2961387
0.0137633	29.4130899
0.3088254	137.540137
0.80362976	242.481968
1.28171682	370.294059
1.75947714	517.029629
2.23739505	664.77431
2.71449161	819.213517
3.19176483	969.942411
3.66968536	1106.65608

x(mm)	y(kg)
4.14793158	1227.55609
4.69319677	1293.71934
5.39540768	1341.93618
6.36059618	1355.66909
7.23664761	1364.42371
8.03339767	1352.1909
8.82753181	1364.5683
9.5741539	1248.72884
10.5335865	1220.18296
11.0198765	1094.25667

ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	9.28200977
0.01474636	17.8599492
0.56638014	84.9729943
1.09412324	160.914393
1.61332643	265.016277
2.13319564	367.502238
2.65223861	470.433826
3.17226386	588.428934
3.69293952	700.556689
4.21412373	800.246347

x(mm)	y(kg)
4.76315022	883.288042
5.33183765	951.000186
6.01783752	1006.68127
6.67614937	1064.75112
7.58316374	1097.02604
8.47249413	1109.79768
9.36132431	1073.23966
10.2590008	990.310844
11.1003141	939.575879
11.9172163	890.696022



ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

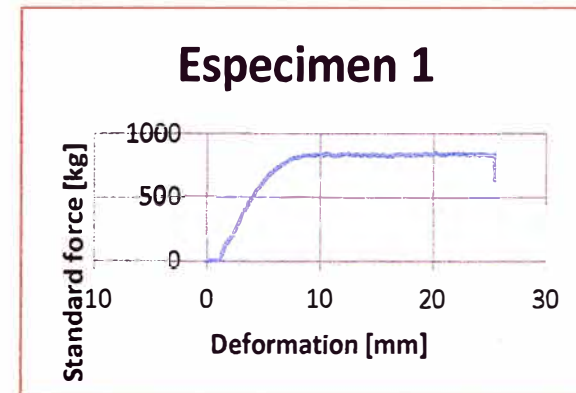
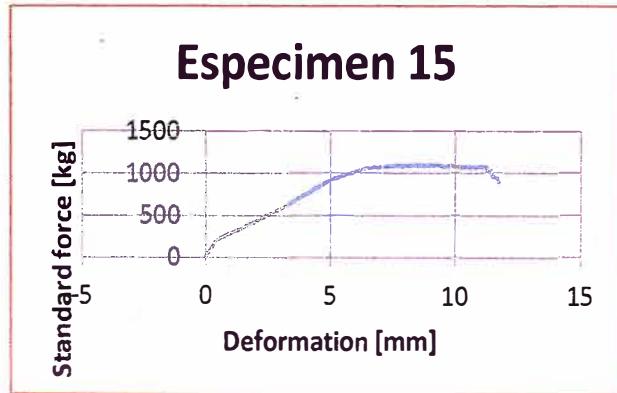
x(mm)	y(kg)
0	6.52363159
-0.00294996	7.16085192
0.45055175	206.557597
0.9602648	281.538842
1.46423209	351.129295
1.97179902	424.013536
2.47463727	500.761521
2.98368311	577.678794
3.48667169	660.694997
3.99130273	748.214531

x(mm)	y(kg)
4.4947834	835.927104
5.01612282	914.095223
5.58268261	978.07166
6.1643095	1030.90381
6.94926643	1068.3028
7.97884274	1087.0365
9.01693153	1094.67033
9.99438953	1077.00026
10.9910412	1076.62883
11.7542038	877.466897

ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	0.85688736
1.39001751	65.1308566
2.25033855	201.701137
3.1096797	346.748847
3.96966743	490.775571
4.83195686	607.464167
5.70474195	693.597674
6.71612501	761.899142
8.02979088	812.303695
9.81072807	831.555817

x(mm)	y(kg)
11.4866552	824.294123
13.4201269	831.016234
14.9472799	833.348038
16.7662354	831.918743
18.3887348	832.484018
20.1985092	846.571587
21.9031086	840.770955
23.7178001	835.969924
25.4353409	790.608983
25.4405842	689.173659



ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

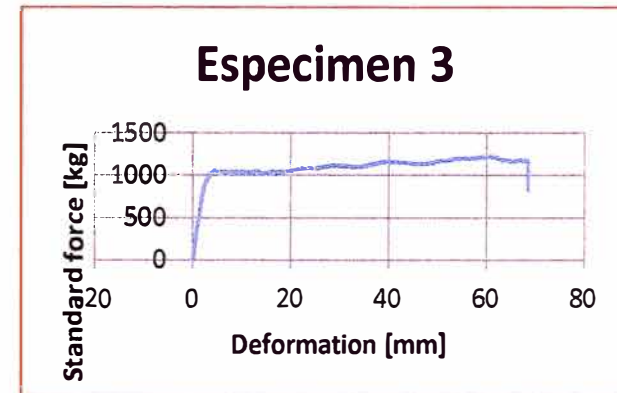
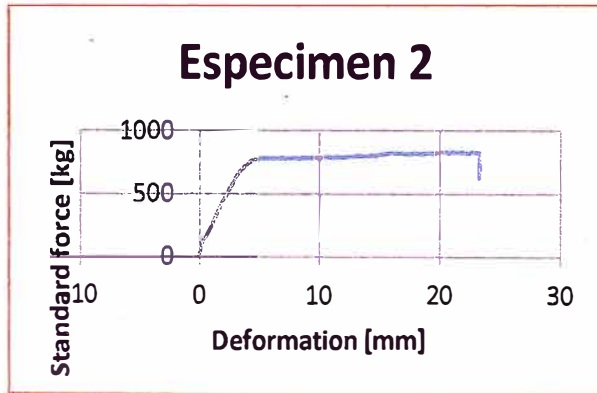
x(mm)	y(kg)
0	8.52690071
0.16154385	86.2745142
0.93076414	229.870623
1.70196331	392.510056
2.47102141	530.456922
3.24123526	660.596461
4.05503225	738.822536
5.34379292	780.643
6.93222618	782.837282
8.48412418	783.320601

x(mm)	y(kg)
10.0564938	784.855105
11.500083	792.729226
13.1768169	800.555897
14.8627415	804.517106
16.5617657	818.508031
18.2253895	817.378824
19.8703518	822.622297
21.4649982	825.617663
23.0558872	826.52057
23.3209877	622.901715

ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	3.83319534
1.79060447	675.782963
3.98785472	1037.77146
7.64050436	1038.22317
11.2733269	1036.77186
14.8773251	1024.60468
18.5419292	1038.28053
22.8442097	1074.4445
26.9601879	1098.75418
31.2288799	1106.82308

x(mm)	y(kg)
35.6732025	1116.09403
39.9038849	1160.10027
43.9027176	1143.18811
48.0837517	1142.28411
51.9313812	1169.71796
56.0178757	1195.55403
59.9680519	1218.13815
63.7511253	1175.96333
67.7707672	1168.51631
68.5254288	826.698274



ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

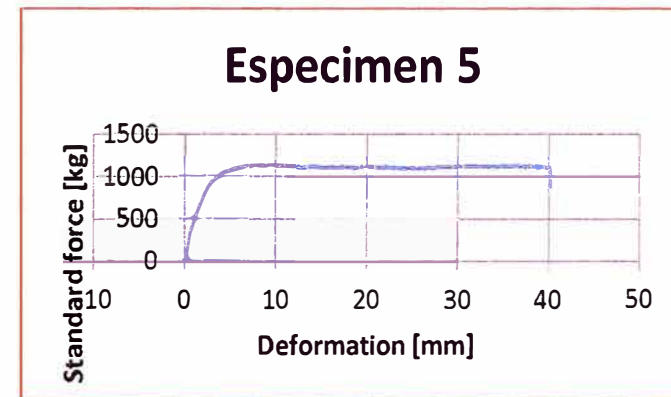
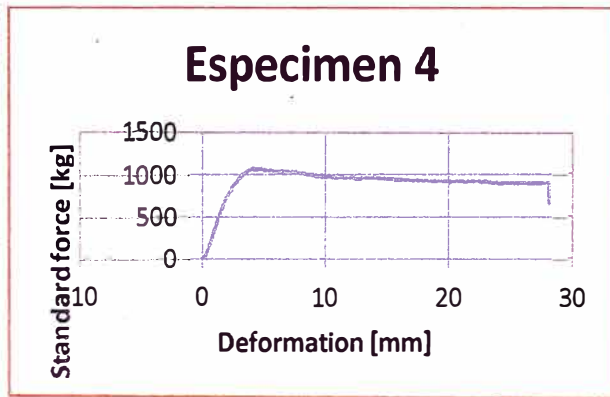
x(mm)	y(kg)
0	1.86771572
0.78642845	244.703336
1.74177003	647.12595
2.69580984	900.794498
3.65412283	1040.02042
5.07117319	1051.41445
6.51837397	1037.46306
8.04846859	1014.08029
9.65459251	978.005936
11.2515392	970.75191

x(mm)	y(kg)
12.9164877	957.243857
14.86061	950.911359
16.6231995	931.457783
18.612545	919.177771
20.6118908	917.991056
22.5322475	912.053898
24.169672	892.519063
26.0194206	898.554011
27.9776421	898.440886
28.1455765	801.006554

ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	2.09951829
0.93552136	426.72141
2.08305931	758.237674
3.23059654	962.081335
4.53327608	1058.01024
6.58242464	1107.95403
8.75282383	1123.39795
11.0159435	1128.92453
13.3111734	1113.08617
15.6357327	1104.81522

x(mm)	y(kg)
18.0382805	1111.10927
20.679388	1111.95602
22.9990368	1100.98262
25.6869946	1096.15012
28.2512569	1112.29529
30.8328724	1118.9354
33.3966484	1118.14452
35.7869072	1119.14522
38.4529114	1117.4343
40.1658669	872.182297



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

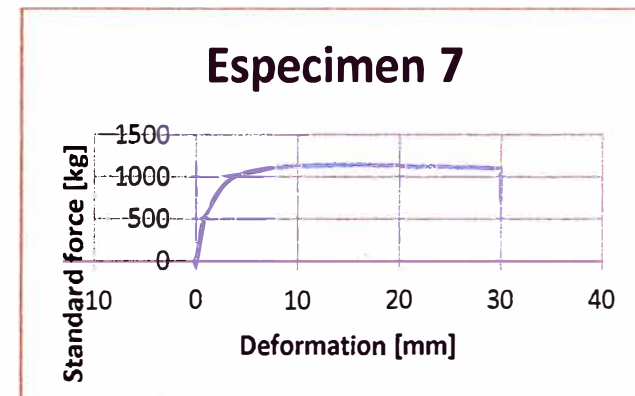
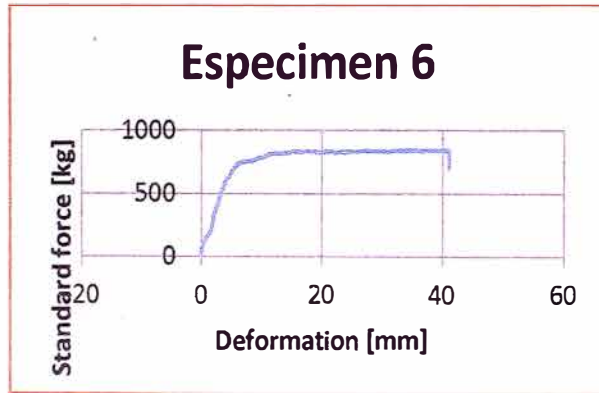
x(mm)	y(kg)
0	24.4495603
0.35815284	102.15085
1.58186185	203.596487
2.7891984	422.286591
3.99539018	588.33931
5.3685441	691.536533
7.14800501	753.253562
9.4235754	781.162069
11.8541517	813.702767
14.4392204	823.853076

x(mm)	y(kg)
16.9821682	831.994474
19.8342972	826.459029
22.6754551	825.257128
25.4423828	829.606755
28.104454	838.207225
30.8169937	835.351721
33.432045	842.467826
35.9759789	837.537638
38.8890572	842.427097
41.0918922	698.027166

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	13.0869457
0.13220659	85.5817744
1.14555991	582.668234
2.15989518	807.07272
3.17407131	953.355492
4.46660566	1032.87105
6.21494198	1079.21695
8.24245358	1110.26452
10.3112593	1124.66682
12.4059553	1133.31718

x(mm)	y(kg)
14.5509567	1140.84416
16.6078033	1141.49015
18.8738747	1134.77695
21.1450272	1122.20636
23.7454834	1123.81998
26.0243454	1110.1272
28.2840233	1109.79739
30.0023823	884.587683
30.0131969	827.756528
30.0153255	858.183505



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

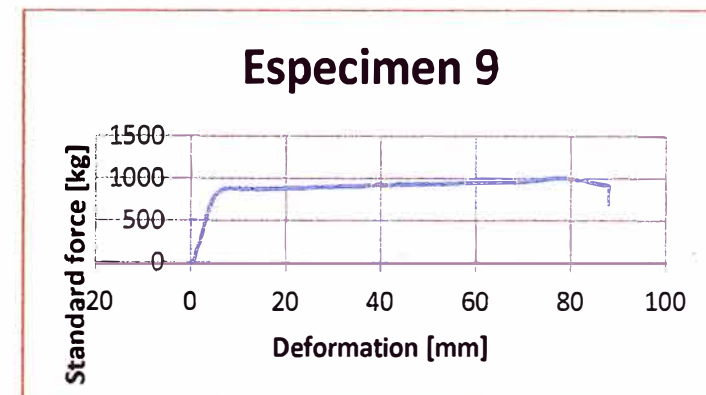
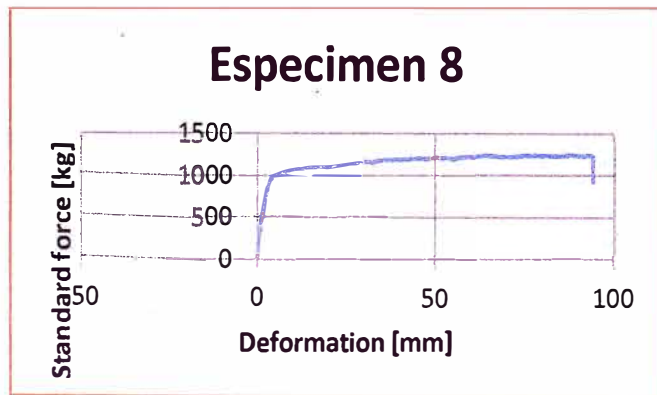
x(mm)	y(kg)
0	12.0388269
0.86834568	378.953382
3.44030786	927.024706
7.74716234	1041.53495
13.0724573	1084.98373
18.893858	1107.51079
24.5633774	1128.4321
30.5348549	1166.54997
36.0316811	1185.64724
41.8271904	1189.585

x(mm)	y(kg)
47.5427551	1197.48342
53.1721306	1206.52046
58.2462502	1218.82477
63.7158928	1229.32207
69.0382309	1219.14612
74.370575	1230.45192
80.2165451	1229.18454
85.7040329	1227.09492
91.1964493	1227.42583
94.0040131	922.450024

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	2.70048078
2.72907281	407.07731
5.42358923	823.471629
9.9437685	878.814137
14.6102533	874.981538
19.219408	879.395296
23.9225941	883.139068
29.2298641	895.192432
34.3552742	906.489175
39.2981606	920.583864

x(mm)	y(kg)
44.1479836	928.95191
49.1080742	932.750353
54.2375793	936.011752
59.1232986	944.564223
64.1592484	952.471207
69.0469131	956.207112
74.359436	986.294018
79.2793732	998.372577
84.4614792	952.180727
88.0592499	793.023689



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

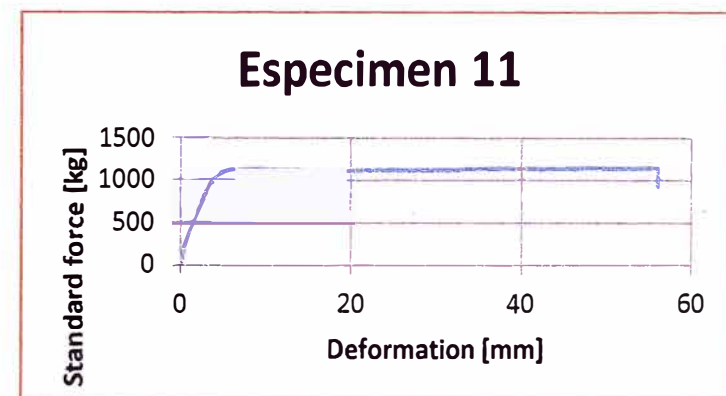
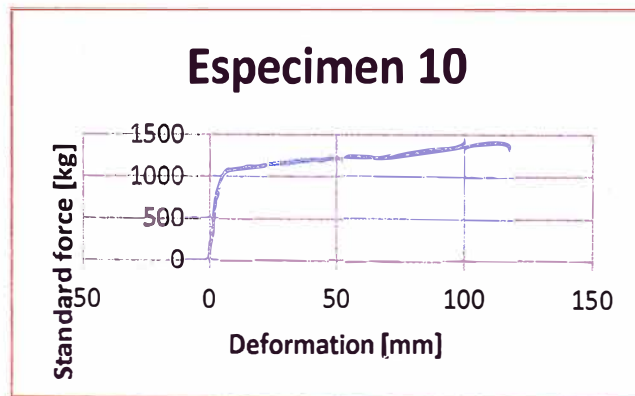
x(mm)	y(kg)
0	13.0570183
2.58588171	729.956183
6.74069405	1064.02687
12.5950327	1093.92785
18.3598957	1113.09075
24.7257366	1153.96673
31.1531773	1153.53156
37.5927505	1192.32469
44.1756821	1194.18069
50.8959045	1219.69382

x(mm)	y(kg)
57.4101906	1235.54781
63.9603424	1225.49445
70.6227341	1242.15585
77.1550369	1266.54679
84.4798355	1313.57781
91.1744919	1335.28273
97.5501709	1358.27803
104.087387	1395.15073
110.956055	1412.7242
117.610573	1329.18116

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	4.51557828
1.3239876	451.310114
2.90044451	825.688267
4.54261875	1058.40887
7.0325017	1127.04941
10.0052147	1129.08307
13.1032562	1121.13526
16.2681637	1113.41389
19.4599209	1112.82387
22.5994225	1115.6251

x(mm)	y(kg)
26.1647472	1122.71651
30.0556202	1121.69182
33.5790024	1137.82016
37.0066986	1134.98896
40.1199875	1138.08784
43.4929543	1140.89524
46.9368706	1143.14629
50.493351	1141.13673
53.8922043	1142.66222
56.1097946	990.643745



ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

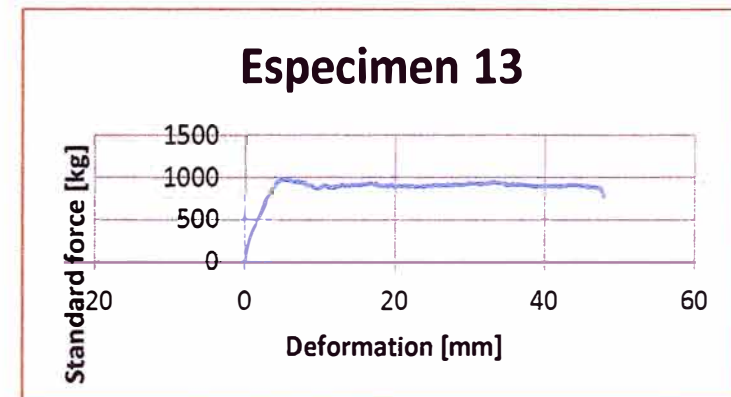
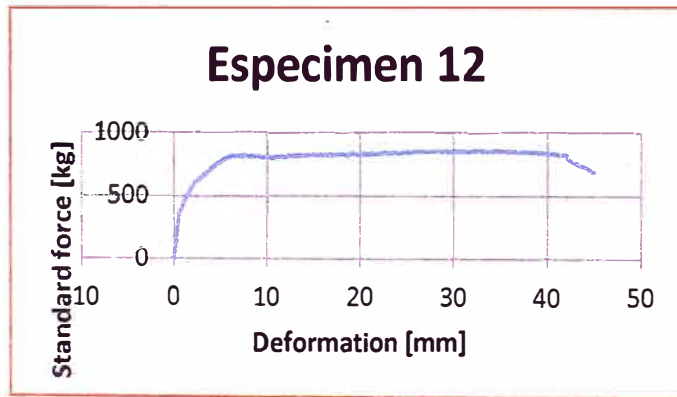
x(mm)	y(kg)
0	4.87077946
0.78511703	393.74803
2.08272767	586.03031
3.68229508	688.88766
5.36248302	784.443435
7.84874916	814.465812
10.2471962	803.130332
12.5832396	811.037464
15.3008413	821.340033
18.0779419	827.375329

x(mm)	y(kg)
20.5884495	829.837337
23.3652115	841.736797
26.1226463	850.589707
29.1223946	854.897809
32.033329	851.864053
35.0643806	853.380781
37.8006668	846.845635
40.5798912	832.886676
42.834156	765.482489
44.9901314	686.298488

ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	4.16683319
1.31693375	406.000508
2.7972281	713.395056
4.31472445	946.57657
6.83769321	948.189892
9.12047958	883.279677
11.592989	878.768329
14.0805635	909.598314
16.9806976	922.33909
19.5062923	911.163937

x(mm)	y(kg)
22.234724	895.059292
25.1459846	902.958408
27.920454	911.938682
30.8898945	924.066832
33.6766472	933.674371
36.45718	912.237825
39.427597	896.035789
42.3575401	897.09265
45.2575226	896.091954
47.8352051	778.32205



ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

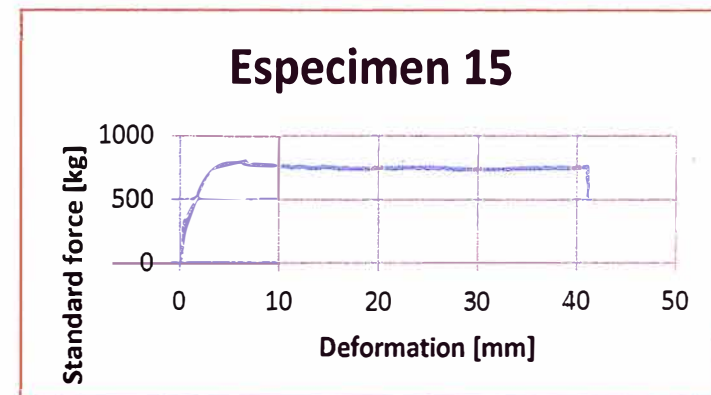
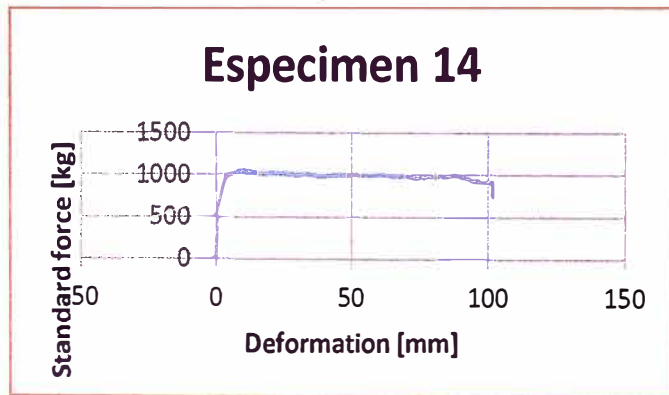
x(mm)	y(kg)
0	17.6770815
1.89971721	773.405604
5.7987752	1003.99785
10.854394	1036.59411
16.0753155	1012.38899
22.2071934	1021.39297
27.5236416	1010.39666
33.0049019	1008.18496
38.451767	986.617659
44.2402306	995.945971

x(mm)	y(kg)
49.650238	993.283157
55.3053284	994.114564
61.1134529	999.100419
67.0066147	980.656302
72.9631882	963.009436
78.8840408	977.048757
85.1551743	979.614379
91.0376816	966.374101
96.6844406	918.051602
101.746933	739.321092

ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

x(mm)	y(kg)
0	2.70033432
0.77183664	356.084304
1.96902573	554.328438
3.16227174	720.565184
5.13506842	779.304075
7.29414511	771.646594
9.66032219	758.373951
11.8500471	757.091589
14.0941687	750.798376
16.6988926	744.004816

x(mm)	y(kg)
19.4633579	741.809936
22.0081329	746.666882
24.6405468	748.627894
27.2800121	740.171519
30.0510387	734.734062
32.8666191	736.129699
35.5986519	747.287674
38.2817078	746.29604
40.7771416	748.523533
41.0838623	575.13035



ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

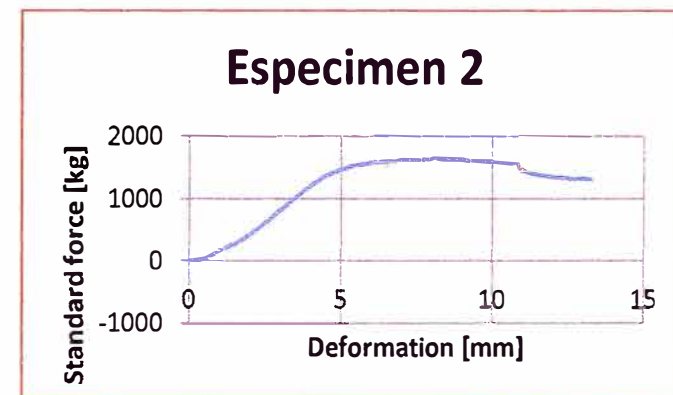
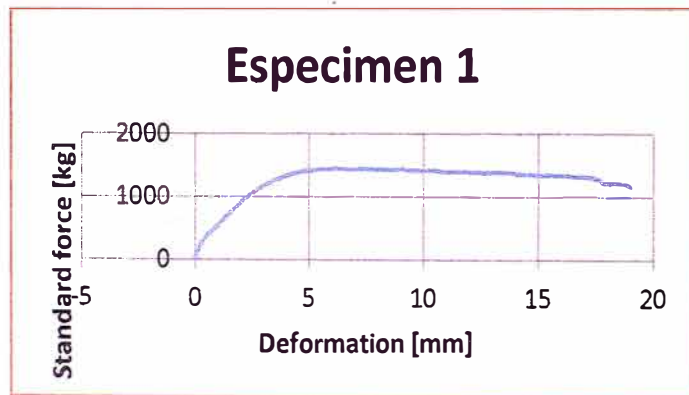
x(mm)	y(kg)
0	1.72059645
0.00114612	11.2143732
0.44318059	346.701347
1.19978762	624.793866
1.95722413	888.03759
2.71399903	1104.1988
3.4747107	1259.75353
4.24590158	1360.03535
5.2164979	1423.41698
6.43529797	1441.93549

x(mm)	y(kg)
7.89315224	1429.78354
9.24138069	1426.34658
10.5088596	1411.79839
11.7155313	1398.49329
13.0657368	1384.3253
14.3690863	1357.99701
15.7043819	1338.58446
16.8374996	1316.52384
17.8215237	1213.86799
19.0178852	1159.23709

ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	-1.5562588
0.51609457	35.2913083
1.08511007	180.597679
1.65509975	316.305663
2.22510695	507.116872
2.79444695	733.911019
3.36509514	965.402483
3.93395066	1186.60472
4.50362253	1367.55336
5.07625437	1475.50227

x(mm)	y(kg)
5.71031046	1548.95371
6.4729867	1593.29045
7.28431177	1621.53121
8.3006115	1628.32517
9.1955061	1611.2024
10.0682936	1580.77622
10.8958387	1482.54379
11.4987745	1378.66638
12.2691574	1334.07929
13.253829	1306.94448



ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

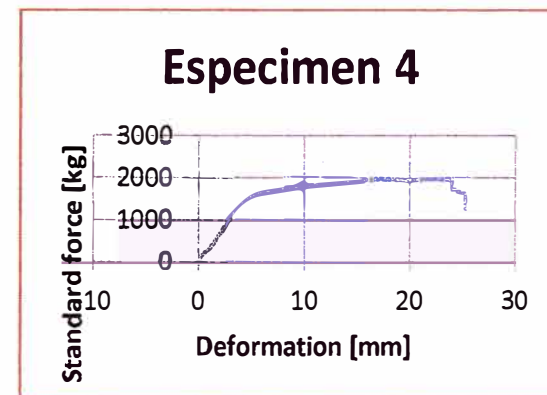
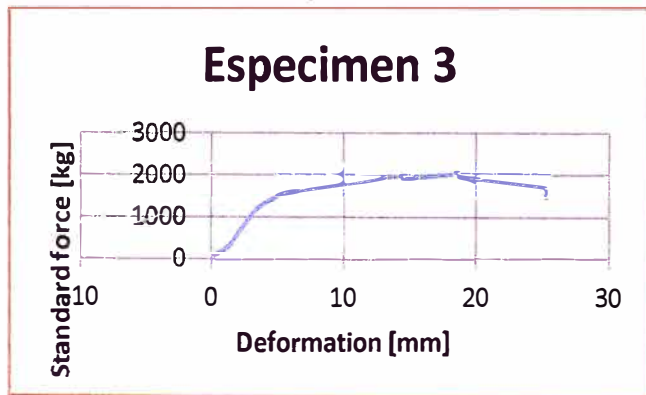
x(mm)	y(kg)
0	11.2567281
0.15744962	67.373224
1.21880293	291.695897
2.28245211	715.640423
3.34429598	1145.51454
4.40844059	1374.49341
5.49305439	1538.244
6.83359289	1605.22402
8.46232605	1665.39096
9.94032764	1743.09035

x(mm)	y(kg)
11.2956142	1833.61247
12.7690258	1912.33755
14.2868433	1961.48528
15.9093533	1948.97025
17.5980473	1998.36674
19.2207165	1895.45168
20.7373791	1819.17193
22.3179569	1763.14231
23.9986229	1710.06728
25.2698631	1461.8336

ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	1.83986903
0.27228937	142.168543
1.35380471	422.164354
2.43416548	828.176314
3.51402664	1220.12431
4.59538174	1492.07545
5.77535963	1616.92188
7.16668749	1696.8492
8.83195114	1743.88063
10.4384041	1797.76307

x(mm)	y(kg)
12.2765188	1849.18405
14.0935087	1895.05435
15.9213133	1937.18018
17.7748299	1956.4566
19.6272049	1931.97625
21.3421135	1963.00768
23.2593803	1952.2692
24.6148186	1662.94583
25.2752686	1450.67159
25.2567558	1255.27155



ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

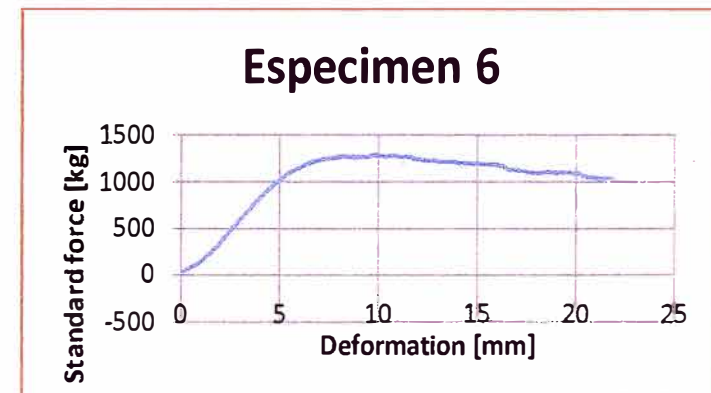
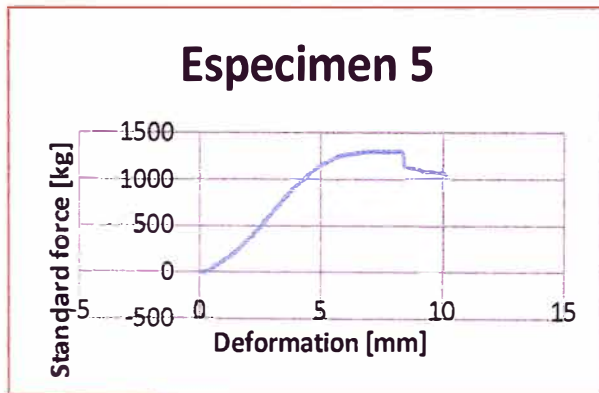
x(mm)	y(kg)
0	-2.87262635
0.38435689	12.6752035
0.84802467	99.8626809
1.31218183	184.365289
1.77667463	291.749373
2.24214792	413.286201
2.70647287	547.436242
3.17160726	690.879592
3.63642049	829.618356
4.10025692	951.237091

x(mm)	y(kg)
4.56440783	1057.41066
5.0293889	1149.19149
5.49403429	1216.02353
6.00899029	1262.93506
6.68254375	1288.90735
7.51647758	1297.02505
8.34289455	1292.15252
8.88455105	1103.52454
9.4842062	1067.2074
10.1703596	1039.79198

ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	-1.78535448
0.28966677	57.5255624
1.15244448	172.630013
2.01505494	357.474389
2.87685943	566.611139
3.73914886	771.634644
4.60143423	951.731116
5.47486591	1096.37059
6.36025715	1188.95784
7.52319479	1249.86696

x(mm)	y(kg)
9.10670948	1264.85948
10.4667416	1273.15353
11.8372707	1242.88857
13.4027538	1214.59175
14.8304567	1195.23546
16.2658596	1165.85011
17.4995747	1100.04386
19.0183773	1093.7968
20.4385471	1057.3771
21.9047489	1026.8608



ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

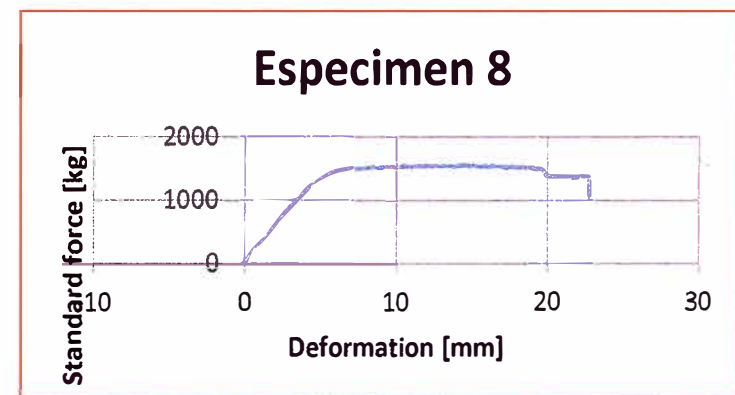
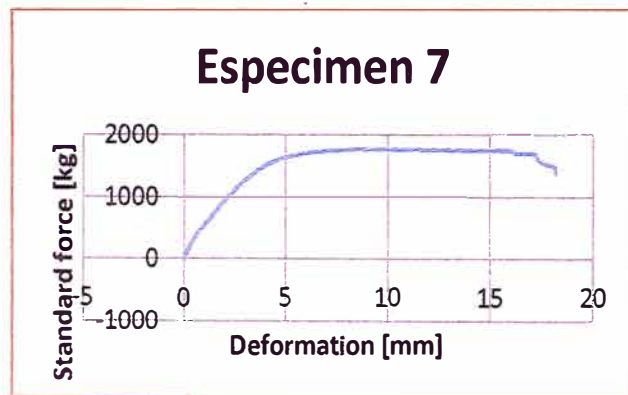
x(mm)	y(kg)
0	-1.12776562
0.0131072	28.7994833
0.00016384	-0.59588942
0.76332664	454.452463
1.57433772	777.120597
2.38419795	1074.8013
3.19585943	1325.95621
4.00718451	1504.5372
4.83606052	1622.1062
5.86021757	1691.43973

x(mm)	y(kg)
7.00431108	1741.84398
8.31372547	1763.12
9.59937382	1760.41815
10.9068222	1760.94315
12.2642326	1757.77247
13.6554003	1747.77507
14.8696184	1744.72627
16.1479053	1732.63826
17.3339386	1600.49289
18.1886902	1381.74783

ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	5.7946456
0.00163821	9.84456369
0.24330071	116.903555
1.3311882	403.645452
2.41990995	735.789129
3.50812888	1035.7162
4.59651899	1282.78507
5.69162321	1436.19371
7.32691956	1494.71546
9.10015011	1525.6987

x(mm)	y(kg)
10.7816515	1528.00571
12.5863495	1540.12569
14.4742689	1549.1697
16.0200958	1530.30634
17.696682	1532.58955
19.3057442	1486.11409
20.750824	1375.17903
22.3938141	1371.37949
22.7676983	1141.77216
22.7495117	1072.77711



ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

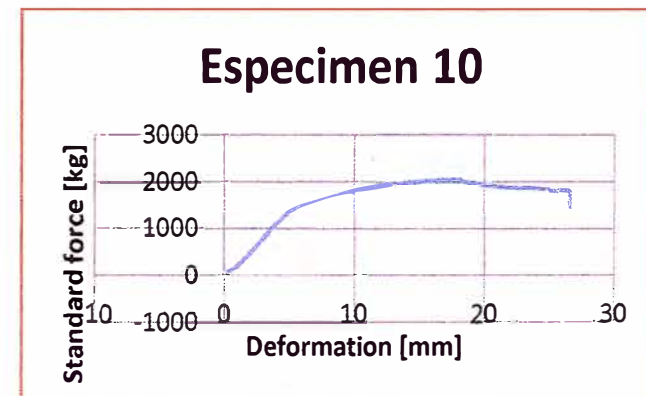
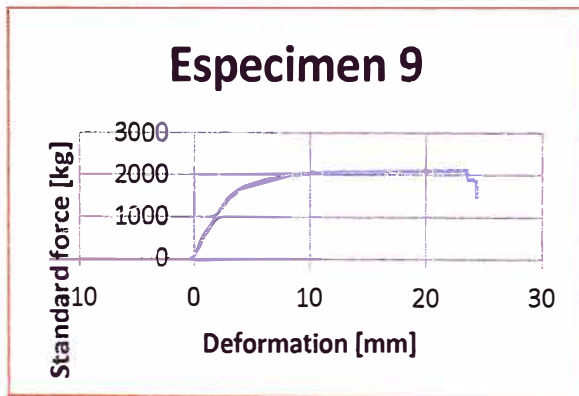
x(mm)	y(kg)
0	17.4253281
0.008354	34.3531774
0.27737898	217.604253
1.3901819	777.120996
2.50477529	1258.86337
3.6197021	1588.32969
4.79526138	1743.6018
6.06714582	1872.04501
7.58021116	1961.21123
9.14865971	2016.24802

x(mm)	y(kg)
10.8694725	2042.89747
12.6484461	2065.42503
14.5063868	2066.84546
16.1826363	2065.77914
17.9616013	2082.43378
19.8408604	2081.86118
21.6604652	2100.24117
23.6024551	2036.18208
24.4096985	1696.97926
24.4105244	1479.65393

ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	11.9751024
0.00032768	5.69794208
0.56557095	113.202665
1.80059075	413.992185
3.03496981	798.039468
4.270154	1173.92499
5.51059151	1439.35722
6.84130239	1592.59796
8.26310253	1711.62493
9.86382008	1818.80866

x(mm)	y(kg)
11.7302742	1889.78867
13.5918388	1968.95012
15.428319	2020.55593
17.4458351	2051.82994
19.3049278	1984.87741
21.0180454	1894.84125
22.9829788	1858.37763
25.0280266	1824.05522
26.6400566	1603.31534
26.6464481	1478.62326



ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

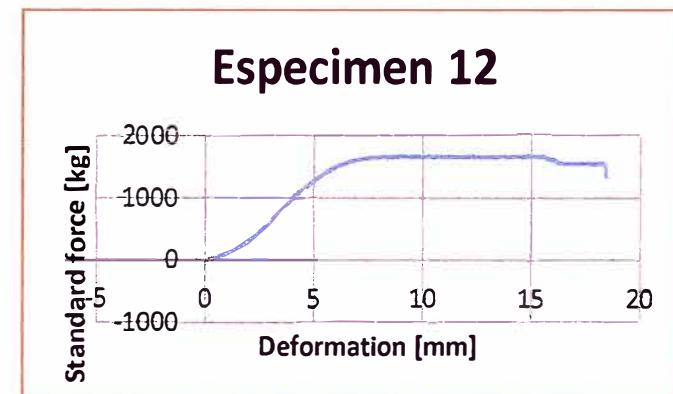
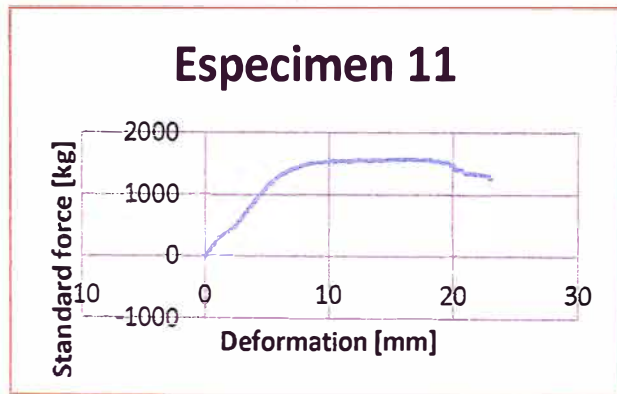
x(mm)	y(kg)
0	-2.95536276
0.69992089	198.09526
1.60528898	359.177833
2.51232028	505.774063
3.41670871	736.768465
4.32291317	963.375598
5.22959805	1171.76845
6.13726711	1320.27219
7.09263182	1419.91858
8.30455303	1490.43166

x(mm)	y(kg)
9.81859207	1523.2944
11.3791761	1540.07789
12.8779755	1550.88878
14.3672905	1553.52759
15.9784937	1561.38588
17.461731	1561.5955
18.9230232	1531.89567
20.1731205	1412.86879
21.7135506	1331.91657
23.0440865	1257.50079

ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	-2.16204293
0.66403258	50.6629669
1.42883503	171.715468
2.1936512	352.506758
2.95910835	609.207543
3.72341704	887.454639
4.48872185	1139.17477
5.25320148	1345.14689
6.02274799	1502.52406
6.84736347	1597.97656

x(mm)	y(kg)
7.87135506	1648.1232
9.10490704	1662.51733
10.3404331	1664.75254
11.5877466	1654.67488
12.7241344	1657.06972
13.9034595	1659.89535
15.138319	1668.00528
16.1487179	1590.44182
17.2549648	1549.65397
18.4378872	1334.8605



ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

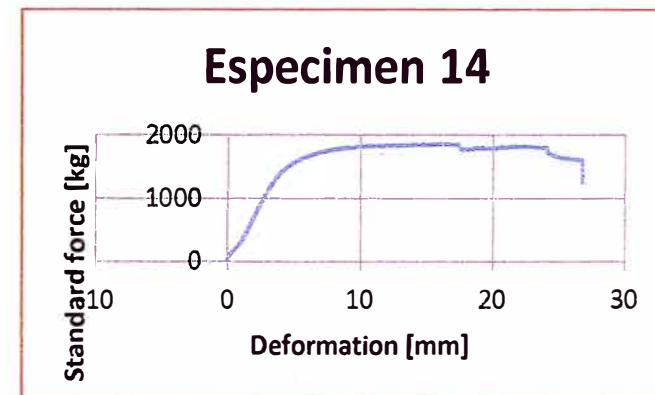
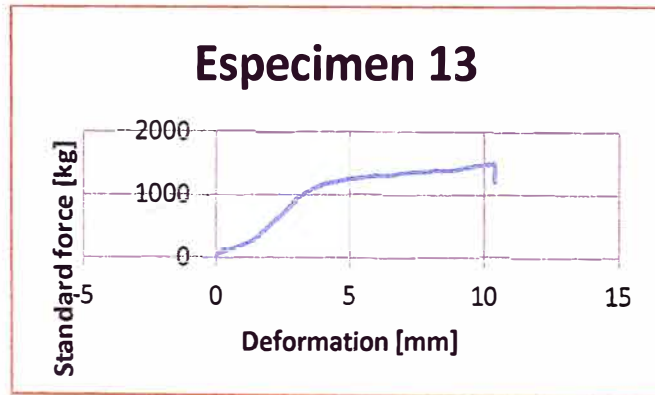
x(mm)	y(kg)
0	6.66386475
0.01065036	15.4694541
0.19954981	90.2695624
0.75136864	165.83054
1.30301905	272.287556
1.85596704	462.11094
2.4071362	673.212661
2.95861936	903.235145
3.50977945	1072.31246
4.06452799	1175.71168

x(mm)	y(kg)
4.71186686	1236.68613
5.4371829	1278.65632
6.23901606	1302.16346
7.04921198	1338.81768
7.85103798	1367.50268
8.78280449	1390.51421
9.44422722	1438.84417
10.1433325	1485.64138
10.3969584	1295.0141
10.4071188	1223.68644

ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	1.61063292
0.10076027	88.9319131
1.22273445	382.289368
2.34650159	859.753609
3.47044945	1268.96124
4.59980536	1511.50513
5.81123209	1644.55559
7.27416039	1737.42455
9.00267982	1793.39024
10.8909292	1826.73596

x(mm)	y(kg)
12.8366957	1833.2229
14.663023	1844.39716
16.5476627	1851.4091
18.2832317	1774.08076
20.1513309	1791.00845
22.0535183	1817.33644
23.9208012	1796.79354
25.386507	1634.28454
26.776701	1395.42408
26.7830868	1392.89361



ESPECIMEN 15 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

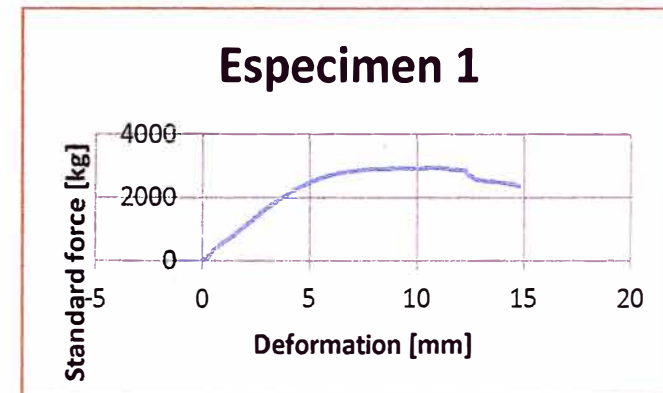
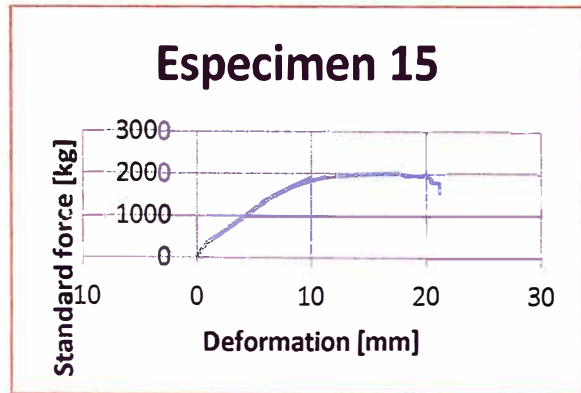
x(mm)	y(kg)
0	9.96532669
0.00688477	15.9933874
0.92061299	348.278894
1.88087904	527.321942
2.84081674	709.275711
3.7997632	901.526921
4.75954008	1099.17441
5.72014189	1288.85119
6.68106556	1459.70434
7.64247131	1602.47138

x(mm)	y(kg)
8.66434479	1717.27918
9.69587421	1814.81284
10.9479418	1892.9
12.4957352	1942.30426
14.0974436	1972.80393
15.7582893	1988.00487
17.4804058	2007.82839
18.8384819	1962.78283
20.4190369	1877.81458
21.1818867	1620.98521

ESPECIMEN 1 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	1.81781324
0.19233511	74.4399122
0.8989867	535.022591
1.60464466	896.397271
2.30997491	1283.56509
3.01580071	1666.46216
3.72178936	2004.82143
4.42825603	2293.68791
5.1340785	2517.34991
5.83957195	2669.98112

x(mm)	y(kg)
6.58636761	2783.61992
7.37951136	2858.1333
8.4549551	2891.0291
9.51499844	2910.61223
10.6317291	2922.08464
11.5575991	2858.42487
12.4590492	2674.2448
13.2079506	2509.03265
14.0065117	2444.46072
14.7691917	2340.75598



ESPECIMEN 2 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

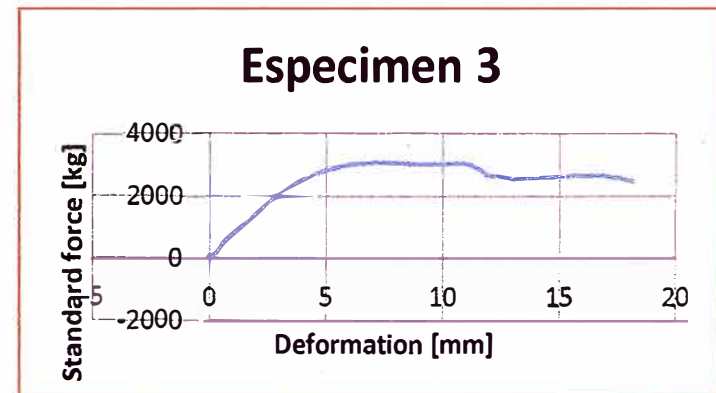
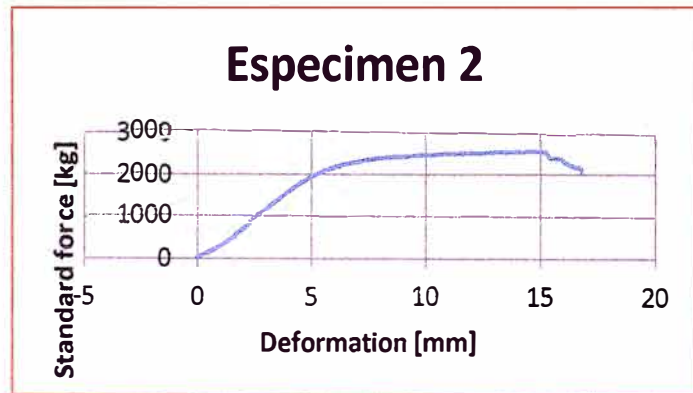
x(mm)	y(kg)
0	20.1955997
0	19.7519961
0.63978326	193.158486
1.42310846	458.386686
2.20527792	804.801113
2.98860312	1175.76107
3.77077651	1514.72888
4.55375481	1805.40417
5.33691216	2033.70588
6.1240015	2186.99034

x(mm)	y(kg)
6.93157291	2293.15734
7.82843876	2374.66612
8.95663548	2427.12036
10.2206545	2465.71125
11.4121075	2497.9042
12.6248531	2516.02687
13.7789392	2539.42498
15.0287142	2545.28337
16.0125713	2311.08244
16.7985058	2037.89767

ESPECIMEN 3 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	13.2389898
0.18317185	111.81014
1.01071703	794.59937
1.83631611	1334.13844
2.66222119	1870.40052
3.48961377	2318.83985
4.31554461	2642.05324
5.14177752	2865.50174
5.97163391	3010.53267
7.08525896	3078.24442

x(mm)	y(kg)
8.32011127	3051.55434
9.53892231	3026.24327
10.7696886	3044.5195
11.6747341	2798.74698
12.6094418	2603.49701
13.7895937	2579.30405
14.9105797	2632.45078
16.146265	2659.23207
17.2677517	2603.56792
18.1454411	2466.83114



ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

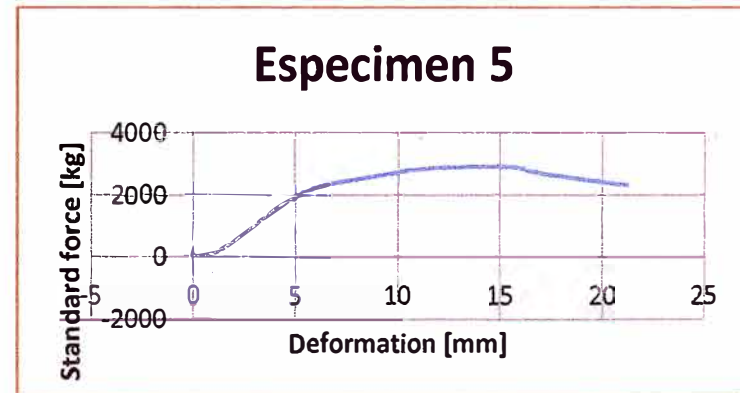
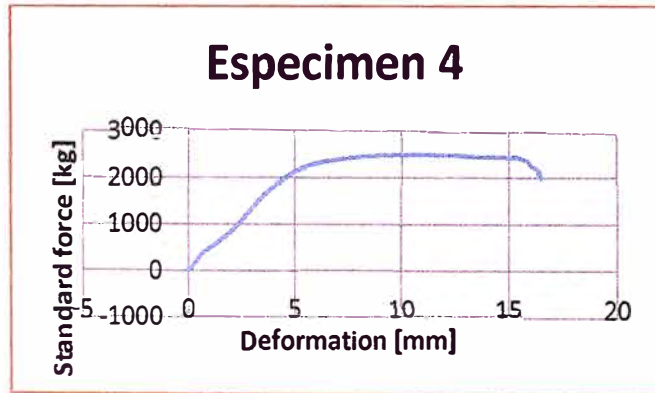
x(mm)	y(kg)
0	7.7776584
0.08453201	42.8374696
0.80559909	431.87989
1.52779758	662.930057
2.24886274	954.556148
2.97041225	1335.71721
3.69065762	1681.16529
4.41334915	1949.5074
5.13408279	2156.1019
5.87513065	2276.27625

x(mm)	y(kg)
6.62470341	2359.63188
7.64575577	2420.113
8.72939205	2469.92833
9.96637726	2485.83112
11.2674294	2493.05995
12.3536987	2478.44117
13.5302248	2442.85945
14.7660713	2433.37768
15.736824	2373.72089
16.4587021	1984.51433

ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	16.0841717
0.15711917	1.96119781
1.3588835	230.014941
2.35666442	675.528084
3.35510802	1211.89488
4.35453129	1708.72392
5.3526392	2081.19757
6.35059929	2305.90797
7.41097021	2458.76562
8.51409626	2581.60876

x(mm)	y(kg)
9.59413624	2690.65487
10.6820269	2800.07898
12.0926876	2869.13149
13.7853231	2905.0026
15.2589045	2898.29936
16.4868832	2751.25887
17.579855	2628.30261
18.7400112	2523.06491
19.9049129	2419.47429
21.1989231	2331.16367



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

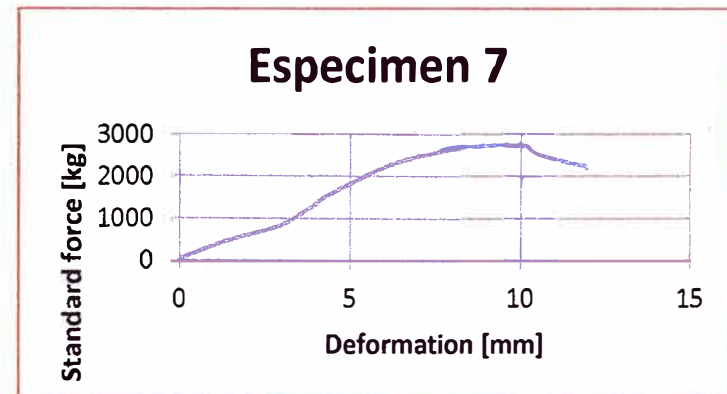
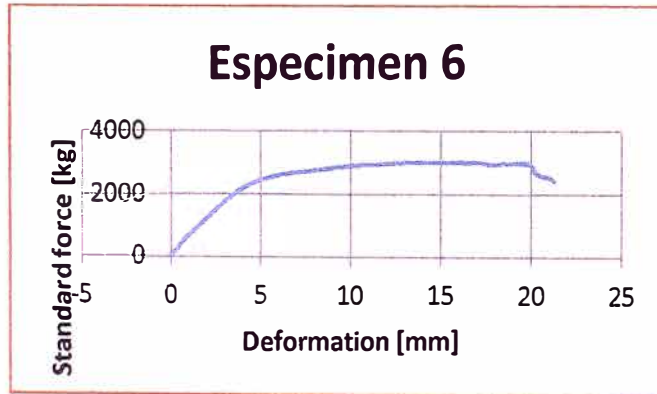
x(mm)	y(kg)
0	38.900602
-0.02146304	7.66665052
-0.00360473	41.8925859
0.77299386	573.832204
1.80535042	1132.27257
2.83933496	1677.806
3.87381983	2132.92128
4.90896463	2418.44262
5.97851038	2580.74758
7.21879053	2692.20057

x(mm)	y(kg)
8.56653404	2786.73942
9.84202862	2869.88473
11.2790709	2925.8323
12.798687	2984.35325
14.4370832	2998.35344
16.055336	2997.9814
17.5135098	2967.23277
18.9996967	2966.31304
20.2239151	2692.72099
21.2588863	2406.46693

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	6.92586176
0.01293964	28.378063
0.38451785	154.260321
1.0338217	355.9366
1.68262541	524.508461
2.33274794	669.12792
2.98188734	830.837385
3.63117194	1147.80621
4.28047895	1520.76104
4.93059587	1796.4713

x(mm)	y(kg)
5.57972002	2066.08745
6.22967529	2290.18224
6.87898254	2451.18109
7.52844286	2569.61017
8.18789768	2664.58459
9.02118015	2723.41186
9.9354105	2717.48993
10.6382818	2494.68772
11.2879143	2335.66676
11.9204979	2182.15246



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

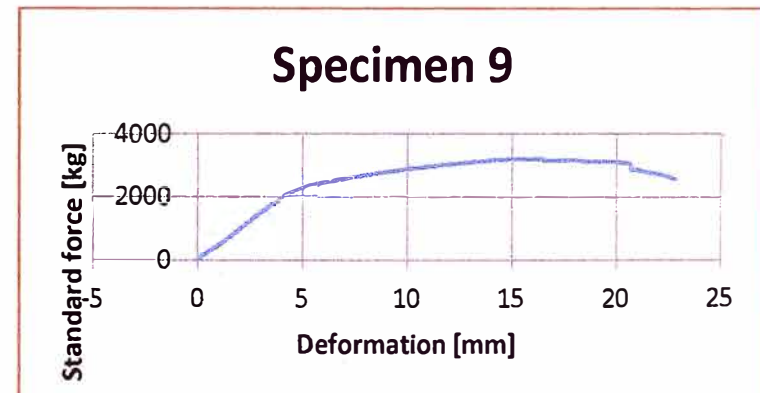
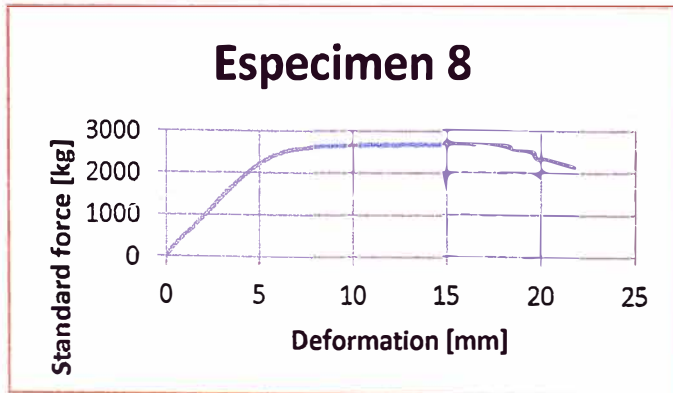
x(mm)	y(kg)
0	1.29803344
0.11795005	70.2265498
1.05380893	537.823326
1.99114108	952.637508
2.92764187	1400.31563
3.86498046	1811.38763
4.8016572	2159.41558
5.73882151	2406.87203
6.74430752	2550.7986
8.02979183	2622.76925

x(mm)	y(kg)
9.46978664	2652.95385
10.9649878	2677.92674
12.4547796	2670.38124
13.8516798	2683.18744
15.2860966	2677.81979
16.8977966	2670.01079
18.3196049	2640.29602
19.5751076	2513.91076
20.7508144	2278.18862
21.7645035	2145.76313

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	35.6181695
0.09763863	82.0577101
1.16865659	557.302943
2.24100089	1105.02493
3.31463981	1643.30793
4.38795805	2077.04422
5.4606204	2349.30208
6.60814953	2515.35928
7.73651075	2652.68298
8.8997879	2771.13776

x(mm)	y(kg)
10.0833549	2885.17709
11.4663353	2986.23415
12.8142519	3078.11058
14.1639557	3162.62773
15.8754272	3187.75298
17.4677925	3148.00834
19.0124741	3114.49155
20.5039177	3064.51609
21.704361	2754.51818
22.8233948	2561.05332



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

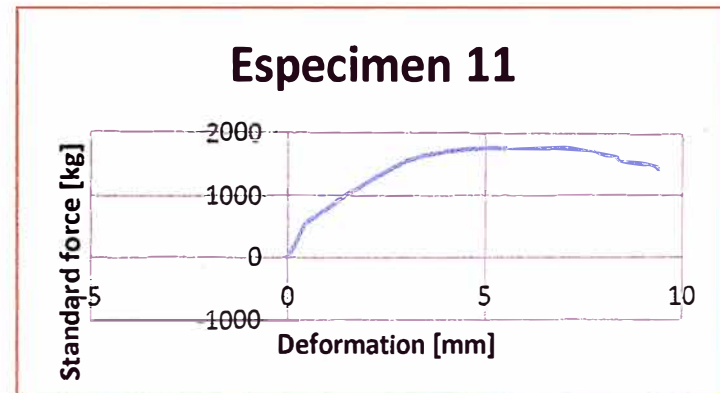
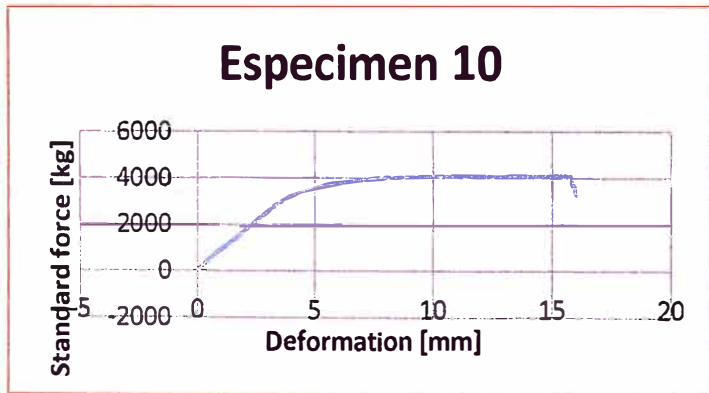
x(mm)	y(kg)
0	32.6901792
-0.02031559	9.01907996
0.52854455	514.042827
1.2790972	1119.5066
2.03144693	1734.33174
2.7829752	2374.67409
3.53582859	2951.6104
4.28818226	3359.91593
5.03986883	3592.37099
5.80763006	3738.32863

x(mm)	y(kg)
6.59439182	3849.77286
7.40605259	3945.23821
8.45347786	4013.80457
9.56742573	4054.94534
10.6350183	4064.20085
11.6495037	4048.08894
12.6808882	4059.18274
13.8895321	4064.0471
14.9726772	4077.4253
15.9781666	3262.92

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	34.8036102
-0.01654796	19.5822638
-0.02047977	1.48856476
0.40795746	524.526485
0.87718648	747.83388
1.3456161	947.895828
1.81682193	1141.73601
2.28638053	1320.23096
2.75479484	1482.16508
3.22551394	1606.05493

x(mm)	y(kg)
3.71571779	1670.74925
4.24443483	1724.27539
4.91207933	1758.39007
5.6057744	1749.3377
6.35092497	1760.71351
7.00923109	1761.8597
7.67622328	1722.00931
8.19150162	1619.68626
8.84866714	1515.98939
9.38212967	1410.92416



ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

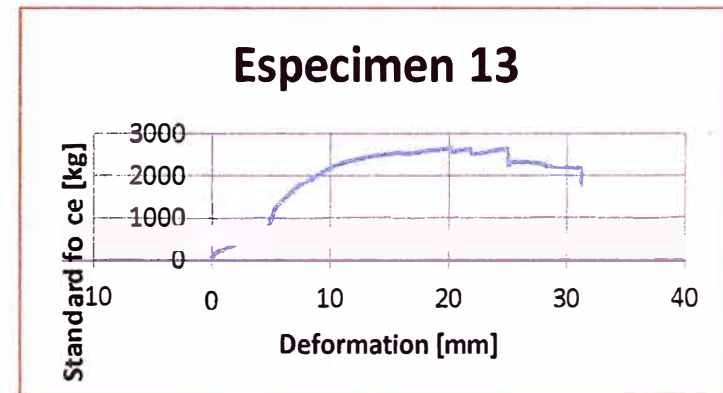
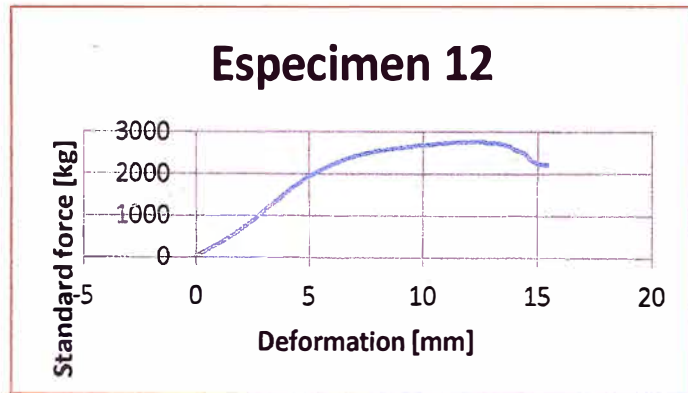
x(mm)	y(kg)
0	23.3209095
0.02506848	34.4068986
0.78314799	261.832303
1.55024815	509.078282
2.31735325	803.616937
3.08476925	1143.48616
3.85269165	1501.03043
4.61994934	1811.42886
5.38770676	2064.83451
6.15530014	2257.80784

x(mm)	y(kg)
6.92255831	2411.79335
7.7132535	2514.12665
8.61617661	2591.8834
9.55121517	2662.35276
10.6210823	2716.71818
11.7533875	2750.56678
12.8537369	2732.05694
13.8523331	2633.28029
14.6196022	2356.11665
15.4753342	2216.25779

ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	32.5137859
0.47676206	182.570889
1.88234723	366.516877
3.28957772	576.498453
4.6956439	781.010506
6.10369492	1454.04332
7.50943422	1796.75968
8.93943501	2022.7748
10.3782682	2232.07932
12.041584	2373.1726

x(mm)	y(kg)
13.8692141	2481.71063
15.9355631	2549.87348
18.0217438	2585.96327
20.1264229	2657.7981
22.0448303	2510.66998
23.899828	2605.31996
25.8403511	2328.01431
28.0626717	2257.51268
30.0728188	2177.34426
31.2052937	1762.0011



ESPECIMEN 14 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	-0.72808543
0.41745153	153.829581
1.06429756	422.649516
1.70998847	696.223443
2.35765004	1004.09623
3.00382924	1291.79004
3.65100503	1556.72426
4.29718447	1778.88219
4.94500399	1950.90971
5.59725618	2071.67099

x(mm)	y(kg)
6.33060169	2151.85494
7.12654591	2198.88657
8.06829929	2223.10881
9.13898945	2246.84629
10.1352997	2281.26012
10.9744873	2239.78675
11.8490648	2046.27408
12.6494217	1990.46952
13.6067467	1967.68205
14.3615532	1820.18508

ESPECIMEN 15 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

x(mm)	y(kg)
0	2.1119588
-0.01278009	1.1994122
0.05191465	22.3927664
0.7089352	442.80584
1.37887037	841.349624
2.049299	1277.47807
2.71925139	1687.66519
3.38902617	2051.77697
4.05995512	2379.15048
4.72939491	2613.16719

x(mm)	y(kg)
5.39949989	2734.68072
6.13530874	2809.90351
6.92600393	2864.80965
7.8520298	2887.5057
8.74855995	2887.42644
9.71422768	2875.29918
10.5679998	2814.35799
11.3480434	2576.44207
12.1103878	2479.45949
12.9120655	2320.27024

