

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“UNIONES EMPERNADAS DE MADERA CUMALA CON
PERNOS DE 1/4”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JHONY ORLANDO LOPE CRUZ

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 | 7 |
| LISTA DE GRÁFICAS | 8 |
| PRESENTACIÓN | 11 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO | 15 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 15 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS..... | 17 |
| 1.5. RESULTADOS ESPERADOS | 17 |
| 1.6. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 1.7. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 18 |
| 1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO..... | 18 |
| CAPÍTULO II: MADERA | 19 |
| 2.1. GENERALIDADES..... | 19 |
| 2.2. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA MADERA..... | 21 |
| 2.3. TIPOS DE MADERAS..... | 24 |
| 2.4. ASERRADO DE LA MADERA | 25 |
| 2.5. MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN | 27 |
| 2.6. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA CUMALA | 28 |
| 2.7. MANTENIMIENTO DE LA MADERA | 30 |
| 2.8. EFECTOS AL EMPERNAR LA MADERA | 31 |
| 2.9. LA MADERA EN EL PERÚ Y EL MUNDO | 32 |
| 2.10. DIMENSIONES COMERCIALES..... | 34 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III: PERNOS | 37 |
| 3.1. DEFINICIONES | 37 |
| 3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PERNOS | 38 |
| 3.3. PERNOS EN EL MERCADO PERUANO | 39 |
| 3.4. DISTRIBUIDORES DE PERNOS EN EL PERÚ | 42 |
| 3.5. NORMAS QUE RIGEN LOS PERNOS ESTRUCTURALES..... | 42 |
| CAPÍTULO IV:UNIONES ESTRUCTURALES EN ELEMENTOS DE MADERA | 45 |
| 4.1. SOLICITACIONES EN LAS UNIONES..... | 46 |
| 4.1.1. Cizallamiento simple | 46 |
| 4.1.2. Cizallamiento doble..... | 46 |
| 4.1.3. Cizallamiento múltiple | 47 |
| 4.2. TIPOS DE UNIONES ESTRUCTURALES PARA MADERA | 47 |
| 4.2.1. Uniones atornilladas..... | 47 |
| 4.2.2. Uniones clavadas..... | 48 |
| 4.2.3. Uniones empernadas..... | 49 |
| CAPÍTULO V: ENSAYOS PRELIMINARES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | 50 |
| 5.1. ENSAYOS PRELIMINARES | 50 |
| 5.1.1. Equipo y normativa de ensayo | 51 |
| 5.1.2. Resultados preliminares | 53 |
| 5.1.3. Conclusiones y recomendaciones preliminares | 55 |
| 5.2. ENSAYOS REALIZADOS | 57 |
| 5.2.1. Armado de probetas..... | 58 |
| 5.2.2. Análisis y gráficas de los ensayos..... | 64 |
| 5.3. CÁLCULOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD | 65 |
| CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 71 |
| 6.1. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL DOBLE CIZALLAMIENTO..... | 71 |
| 6.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA E.010 | 86 |
| 6.3. CARGAS ADMISIBLES ESTIMADAS PARA MAS DE TRES PERNOS | 88 |
| 6.4. COMPARACION DE RESULTADOS CON EL MANUAL DE DISEÑO DEL GRUPO ANDINO..... | 90 |
| 6.5. RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE | 95 |
| 6.6. EFECTOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA RESISTENCIA DE LAS PROBETAS..... | 97 |

| | |
|--|------------|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 101 |
| RECOMENDACIONES | 103 |
| BIBLIOGRAFÍA | 104 |
| ANEXO..... | 107 |

RESUMEN

Las evaluaciones y análisis de las uniones estructurales con maderas cuya densidad son menores a 0.40 gr/cm^3 se da en una cantidad inferior a lo que se considera necesario y teniendo en cuenta que el Perú tiene un gran potencial en recursos madereros cuya participación en la economía no alcanza el 1%. Es por ello que realizamos el presente estudio: "Uniones empernadas de madera Cumala con pernos de $1/4$ ".

Para este informe hicimos uso de listones de madera, el cual es representativo de la especie denominada Cumala, que fueron conectadas con uno dos y tres pernos. Tienen una densidad teórica de 0.38 gr/cm^3 y no están dentro de los grupos existentes según la clasificación de las maderas en lo que respecta a sus densidades básicas del Manual del Grupo Andino.

Se realizaron ensayos de cizallamiento doble, donde los resultados obtenidos nos dicen que las cargas admisibles de los especímenes de madera Cumala son inferiores a las cargas dadas por la norma E.010, lo cual exige que la madera Cumala debiera pertenecer a un grupo, aún no presente en la norma E.010.

Se estima que los resultados servirá como base para próximas evaluaciones considerando las reglas de clasificación del Grupo Andino, la cantidad de características naturales y los defectos de manufactura que afectan la resistencia y comportamiento correspondiente a cada clase y especie, pues cada clase tiene propiedades y valores de diseño asignados. Se espera también el desarrollo de mayores investigaciones con el fin de obtener datos con mejor precisión, usando diversos tipos de maderas, con el fin de introducirlas a los diferentes sectores productivos, y así contribuir a fomentar una mayor actividad productiva económica y social.

ABSTRACT

The evaluations and analysis of structural joints with wood whose density is less than 0.40 gr / cm^3 is given in an amount lower than what is considered necessary and taking into account that Perú has great potential in timber resources whose participation in the economy does not reach 1%. That is why we carry out the present study: "Cumala bolted wooden joints with 1/4" bolts.

For this report we made use of wooden slats, which is representative of the species called Cumala, which were connected with one and two bolts. They have a theoretical density of 0.38 gr / cm^3 and are not within the existing groups according to the classification of the woods with respect to their basic densities of the Manual of the Andean Group.

Double shear tests were carried out, where the results obtained tell us that the allowable loads of the Cumala wood specimens are lower than the loads given by the E.010 norm, which demands that the Cumala wood should belong to a group, still not present in the E.010 standard.

It is estimated that the results will serve as a basis for future evaluations considering the classification rules of the Andean Group, the amount of natural characteristics and the manufacturing defects that affect the resistance and behavior corresponding to each class and species, since each class has properties and values assigned design. It is also expected the development of more research in order to obtain data with better precision, using different types of wood, in order to introduce them to the different productive sectors, and thus contribute to promote a greater productive economic and social activity.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Estructura macroscópica de la madera | 22 |
| Figura 2.2 Estructura general de la madera | 22 |
| Figura 2.3 Plano de la madera | 24 |
| Figura 2.4 Planos de corte según su ubicación en el tronco | 26 |
| Figura 2.5 Maneras de cubicar la madera..... | 28 |
| Figura 2.6 Broca de tres puntas | 32 |
| Figura 3.1 Perno de 1/4" | 37 |
| Figura 3.2 Vista Isométrica del sistema Perno, Tuerca y Arandela..... | 37 |
| Figura 3.3 Partes del perno | 38 |
| Figura 3.4 Perno hexagonal | 39 |
| Figura 3.5 Perno de tensión controlada | 40 |
| Figura 3.6 Perno de coche..... | 40 |
| Figura 3.7 Perno con cabeza pan | 41 |
| Figura 3.8 Perno con cabeza combinada..... | 41 |
| Figura 3.9 Perno hexagonal grado 2, zincado | 44 |
| Figura 4.1 Uniones estructurales..... | 45 |
| Figura 4.2 Cizalla simple..... | 46 |
| Figura 4.3 Cizalla doble | 47 |
| Figura 4.4 Uniones con tornillos | 48 |
| Figura 4.5 Uniones con clavos | 48 |

LISTA DE FOTOS

| | |
|--|----|
| Fotografía 5.1 Búsqueda de la madera Cumala | 50 |
| Fotografía 5.2 Selección de madera para las muestras | 51 |
| Fotografía 5.3 Madera Cumala – muestras preliminares..... | 51 |
| Fotografía 5.4 Maquina Zwick Roell de 100 toneladas..... | 52 |
| Fotografía 5.5 Madera Cumala ensayada con tres pernos..... | 56 |
| Fotografía 5.6 Deformación final de perno en muestra ensayada..... | 57 |
| Fotografía 5.7 Selección de la madera Cumala..... | 59 |
| Fotografía 5.8 Piezas cortadas según requerimientos | 59 |
| Fotografía 5.9 Empaquetado final de las piezas de madera | 60 |
| Fotografía 5.10 Traslado de las piezas | 60 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| Fotografía 5.11 | Habilitado de las piezas según dimensiones | 61 |
| Fotografía 5.12 | Probetas en proceso de armado | 61 |
| Fotografía 5.13 | Probetas armadas finales | 62 |
| Fotografía 5.14 | Probetas diferenciadas por números de pernos | 62 |
| Fotografía 5.15 | Codificación de probetas (90 probetas)..... | 63 |
| Fotografía 5.16 | Ensayo de probetas en el LEM..... | 63 |
| Fotografía 5.17 | Probeta siendo solicitada a compresión..... | 64 |
| Fotografía 5.18 | Uso del programa TestXpert..... | 64 |
| Fotografía 5.19 | Gráficas obtenidas de carga vs deformación | 65 |
| Fotografía 5.20 | Corte de muestras para ensayo de humedad | 65 |
| Fotografía 5.21 | Muestras secadas al horno..... | 66 |
| Fotografía 5.22 | Pesado de las muestras en estado seco..... | 66 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabla 5.1 | Dimensiones de las probetas preliminares para cada ensayo | 53 |
| Tabla 5.2 | Dimensiones de las probetas para ensayos posteriores | 58 |
| Tabla 6.1 | Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 1 perno..... | 72 |
| Tabla 6.2 | Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos | 74 |
| Tabla 6.3 | Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos | 77 |
| Tabla 6.4 | Cargas para las probetas con espesor de 4cm y 1 perno..... | 79 |
| Tabla 6.5 | Cargas para las probetas con espesor de 4cm y 2 pernos | 82 |
| Tabla 6.6 | Cargas para las probetas con espesor de 4cm y 3 pernos | 84 |
| Tabla 6.7 | Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 2cm..... | 86 |
| Tabla 6.8 | Cargas admisibles para uniones empernadas en doble cizallamiento con un espesor de la pieza central de 4cm..... | 86 |
| 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 | 87 |
| 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..... | 87 |
| 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 | 88 |

| | |
|--|----|
| 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 | 90 |
| Tabla 6.15 Coeficientes de reducción por esbeltez del perno para cargas paralelas al grano..... | 91 |
| Tabla 6.16 Factores de reducción para la obtención de cargas paralelas | 92 |
| Tabla 6.17 Comparación entre las cargas admisibles obtenidas mediante ensayos y calculadas con el manual de madera del grupo Andino..... | 95 |
| Tabla 6.18 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=3.3$ y un perno | 95 |
| Tabla 6.19 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=6.6$ y un perno | 96 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 2.1 Clasificación de la madera en función de sus densidades básicas.. | 27 |
| Cuadro 2.2 Directorio de Proveedores de Madera Certificada | 35 |
| Cuadro 2.3 Precio de la madera aserrada en Lima | 36 |
| Cuadro 3.1 Equivalencias de normas internacionales usadas para identificar el grado de dureza de los pernos | 44 |
| Cuadro 5.1 Velocidad de ensayo..... | 53 |
| Cuadro 5.2 Probetas de $L=2\text{cm}$ y un perno de $1/4''$ | 67 |
| Cuadro 5.3 Probetas de $L=2\text{cm}$ y dos pernos de $1/4''$ | 68 |
| Cuadro 5.4 Probetas de $L=2\text{cm}$ y tres pernos de $1/4''$ | 68 |
| Cuadro 5.5 Probetas de $L=4\text{cm}$ y un perno de $1/4''$ | 69 |
| Cuadro 5.6 Probetas de $L=4\text{cm}$ y dos pernos de $1/4''$ | 69 |
| Cuadro 5.7 Probetas de $L=4\text{cm}$ y tres pernos de $1/4''$ | 70 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 5.1 Carga-Deformación de la muestra de un perno | 54 |
| Gráfica 5.2 Carga -Deformación de la muestra de dos pernos | 54 |
| Gráfica 5.3 Carga-Deformación de la muestra de tres pernos | 55 |
| Gráfica 6.1 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Gráfica 6.2 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)..... | 71 |
| Gráfica 6.3 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 2 cm y 1 perno | 72 |
| Gráfica 6.4 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)..... | 73 |
| Gráfica 6.5 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)..... | 74 |
| Gráfica 6.6 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 2 cm y 2 pernos..... | 75 |
| Gráfica 6.7 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)..... | 76 |
| Gráfica 6.8 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)..... | 76 |
| Gráfica 6.9 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 2 cm y 3 pernos..... | 77 |
| Gráfica 6.10 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)..... | 78 |
| Gráfica 6.11 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)..... | 79 |
| Gráfica 6.12 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 4 cm y 1 perno | 80 |
| Gráfica 6.13 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)..... | 81 |
| Gráfica 6.14 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)..... | 81 |
| Gráfica 6.15 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 4 cm y 2 pernos..... | 82 |
| Gráfica 6.16 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)..... | 83 |
| Gráfica 6.17 Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)..... | 84 |
| Gráfica 6.18 Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 4 cm y 3 pernos..... | 85 |
| Gráfica 6.19 Carga admisible respecto al número de pernos para un espesor de 2cm | 89 |
| Gráfica 6.20 Carga admisible respecto al número de pernos para un espesor de 4cm | 89 |

| | |
|---|-----|
| Gráfica 6.21 Relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=3.15$ y $l/d=6.3$ | 96 |
| Gráfica 6.22 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 1 perno | 97 |
| Gráfica 6.23 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2cm y 2 pernos..... | 98 |
| Gráfica 6.24 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2cm y 3 pernos..... | 98 |
| Gráfica 6.25 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 1 perno..... | 99 |
| Gráfica 6.26 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 2 pernos..... | 99 |
| Gráfica 6.27 Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4cm y 3 pernos..... | 100 |

PRESENTACIÓN

El territorio peruano tiene poco más de 68 millones de hectáreas de bosques tropicales (2016), de los cuales el 75% corresponden a suelos cuya capacidad de uso mayor es la forestal permanente. Sin embargo, la actividad forestal da cuenta de apenas el 1% del producto interno bruto, nivel que no refleja en lo más mínimo el potencial real del sector.

Las posibilidades de un desarrollo integral sostenible están basadas en una utilización industrial de los recursos forestales maderables. Una adecuada explotación de los bosques, junto con el desarrollo de plantaciones científicamente organizadas permitirá no sólo aprovechar la dinámica de crecimiento permanente de los árboles para transformarlos en innumerables bienes y servicios, sino también la creación y el fortalecimiento de ecosistemas que contribuyan a preservar y enriquecer el medio ambiente del planeta.

El Acuerdo Internacional de Maderas Tropicales, firmado en 1990, establece que a partir del año 2000 el comercio de maderas tropicales se ha de realizar con especies provenientes de bosques en explotación. Este acuerdo firmado por Perú está en pleno proceso de renegociación y se espera que sea renovado e incluso extendido a las maderas de los bosques templados. Dentro de este contexto está en formación el Forest Stewardship Council (Congreso para la Explotación de Bosques), el cual pretende organizar un sistema de certificación sobre la explotación de los bosques.

La madera utilizada en este estudio es la denominada en el Perú como Cumala, madera que en otros países recibe comúnmente el nombre de Virola, la especie de donde proviene es la "Virola sebífera Aubl", de la familia "Myristicaceae".

En el Perú se encuentra principalmente en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, ubicados entre los 80 y 1000 msnm, el árbol donde proviene la madera Cumala puede llegar a medir hasta 35 m de altura.

La baja resistencia mecánica de la madera facilita el 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. Presenta baja durabilidad natural y es susceptible al ataque biológico, por lo que se recomienda su preservación.

La estabilidad y resistencia de una estructura de madera están relacionadas con las propiedades mecánicas de la madera y con el tipo de elemento de unión con el cual se ensamblan sus partes, debido a eso es importante analizar el efecto de la cantidad de pernos y su esbeltez en las uniones de madera.

En cuanto a lo pernos, en el Perú, el uso de los pernos estructurales está regido mediante las normas ASTM (American Society of Testing Materials) correspondientes, cuyo material principal es el acero, existen además pernos de bronce, acero inoxidable, acero zincado entre otros. Así se han generado los distintos catálogos de pernos en nuestro país.

Las diferentes medidas se ajustan a las distintas necesidades de acuerdo a los modelos matemáticos de las cargas requeridas obtenidas de los ensayos realizados en laboratorios acreditados.

La fabricación a mayor escala en el Perú, facilita la adquisición de pernos a bajo costo y buena calidad, los avances tecnológicos otorgan elementos metálicos de mayor resistencia y diversidad de modos de empleo.

El tener identificado este sistema estructural (madera Cumala y pernos metálicos). En cuestiones de resistencia, armado y economía, nos permitirá contar con un material bajo en costo así como la colocación de pernos en un número exacto según el uso que se requiera. (Carga que va a soportar, separación de elementos. Etc.)

Además uno de los aportes es la fabricación de módulos de viviendas permanentes o temporales de bajo costo. Con una instalación rápida y limpia, ya que el proceso de armado es realizado con herramientas manuales, o eléctricas fácil de transportar.

Al incorporar a al R.N.E un 4to rango de densidades menores a las existentes con respecto a la madera Cumala. La estamos catalogando y poniendo en conocimiento sus características no solo para su uso sino también para su correspondiente supervisión. Este sistema puede desarrollarse de manera horizontal en caso de módulos para vivienda (de un nivel), satisfactoriamente.

INTRODUCCIÓN

Procedemos a presentar el estudio del comportamiento de las Uniones empernadas en madera Cumala con pernos de 1/4" de espesor. Los capítulos se desarrollaron de la siguiente forma:

Capítulo I

Se da a conocer los antecedentes, justificación, planteamiento del problema, definición de los objetivos, marco teórico, los resultados que se esperan en la presente investigación y la formulación de la hipótesis y metodología de trabajo.

Capítulo II

Se menciona el uso de la madera en general en nuestro país y el mundo, se menciona también la estructura de la madera, composición de la madera, planos de madera, tipos de madera, aserrado de la madera, su uso para la construcción, propiedades físicas y mecánicas de la madera Cumala.

El capítulo III

En este capítulo mencionamos definición y clasificación de Pernos, tipo de pernos en el Perú y las empresas que lo distribuyen en el país. También mencionamos las normas que rigen su comportamiento estructural.

El capítulo IV

En este capítulo se describe los tipos de uniones estructurales, uniones atornilladas, uniones clavadas y uniones empennadas.etc, solicitaciones de las uniones estructurales y tipos de uniones estructurales en la madera.

El capítulo V

En este capítulo Se describe los ensayos preliminares y los ensayos principales asi como la máquina de ensayo a utilizar, armado de probetas, cálculos de humedad y densidad con sus conclusiones y recomendaciones

El capítulo VI

En este capítulo se muestra los ensayos de resistencia al doble cizallamiento, comparación de resultados con la norma E.010, cargas admisibles estimadas para más de 03 pernos y relación de densidades y esfuerzo admisible.

Al final se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como también la bibliografía y los anexos utilizados en la presente investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La madera está dentro del grupo de los materiales naturales más antiguos disponibles para el hombre. Tiene buenas propiedades estructurales (físicas y mecánicas) y es un recurso que se puede usar de manera responsable.

Existen registros de su uso desde la antigüedad en la rama de la construcción y hay una amplia extensión de este material, especialmente en bosques templados (Coníferas).

En cuanto a estudios sobre la madera de bosques tropicales, uno de los estudios más representativos fue el realizado en el marco del Acuerdo de Cartagena, cuyos resultados se usaron como base para la norma peruana de madera (RNE-E.010).

Existen varias investigaciones respecto a las propiedades físicas y Mecánicas de la madera Cumala, entre las cuales hay estudios sobre sus propiedades físicas realizadas como: Densidad básica, contracción tangencial, contracción radial, contracción volumétrica. Además entre los estudios mecánicos realizados se tienen: 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 choque).

Respecto a estudios de uniones empernadas realizadas, se encontraron informes de tesis profesionales de la madera tornillo publicado en el año 1969, en las cuales se realizan los ensayos de resistencia a la compresión paralela y perpendicular.

En el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-E.010), en la tabla de Cargas Admisibles Para Uniones Empernadas de Doble Cizallamiento (tabla 10.3.2.1), se dispone de información para las maderas con densidad entre 0.40 gr/cm³ y 0.70gr/cm³, y no se considera maderas con densidades menores a 0.40 gr/cm³.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Según las propiedades físicas y mecánicas de la madera Cumala, esta madera se podría emplear en elementos estructurales, por lo que se requiere contar con el

conocimiento de los diferentes sistemas de uniones. En este caso, el de las uniones empernadas que se aplicaran sobre ella formando una sola unidad.

Por otra parte la madera Cumala se encuentra en el mercado a un precio menor que otras especies similares, permitiendo reducir el costo en la construcción al emplearse este material.

Las conexiones empennadas presentan ciertas características que las hacen más apropiadas para la unión de elementos hechos de madera, las principales ventajas de las conexiones empennadas están en la rapidez de ejecución, el bajo nivel de calificación requerido para realizarlas, la facilidad de inspección y reemplazo de partes dañadas así como la mayor calidad que se obtiene al trabajar con ellas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según sus características, el sistema de madera empennada se presenta como una alternativa en la construcción, debido a que tiene un excelente comportamiento sísmico gracias a su baja densidad, siendo más liviano que otros materiales convencionales.

Para el uso de los sistemas de madera empennada no se necesita grandes inversiones ya que con un equipo mínimo se pueden alcanzar grandes rendimientos y por ende reducir los costos en la construcción al usarla; volviéndose así altamente competitiva frente a cualquier otro material.

Ante la ausencia de normas para el sistema empennado de madera con densidades menores a 0.40 gr/cm^3 , y al tener la madera Cumala una densidad de 0.38 gr/cm^3 ; es necesario su estudio.

1.4 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Determinar la resistencia de uniones empernadas, al utilizar pernos de 1/4" en la especie Cumala (*Dyalianthera* sp)

Objetivos específicos:

- Realizar ensayos de doble cizallamiento de las uniones empernadas con madera Cumala, utilizando uno, dos y tres pernos de 1/4"
- Comparar los resultados obtenidos en los ensayos con las cargas dadas en la norma E010 del Reglamento nacional de Edificaciones.
- Desarrollar proyecciones de las cargas admisibles para uniones empernadas utilizando más de tres pernos.

1.5 RESULTADOS ESPERADOS

En la presente investigación se espera obtener valores que presenten el comportamiento de las uniones empernadas con uno, dos y tres pernos de 1/4", utilizando madera Cumala (densidad de 0.38 gr/cm³), para extender el conocimiento y la información con respecto a este tipo de uniones en maderas con densidad menor a 0.40 gr/cm³ y su consecutivo uso en la construcción.

1.6 MARCO TEORICO

Actualmente y desde los inicios de la revolución industrial muchos usos de la madera fueron cubiertos por otros materiales (metales, plásticos, etc.) pero en muchos casos más valorados por su belleza y características que por lo general no se podría encontrar en materiales artificiales. Sus principales cualidades son su ligereza y ser un material natural renovable.

El hombre en el tiempo ha ido mejorando la utilización de los materiales, en este caso la madera, involucrando nuevos elementos como el acero para uniones y empalmes.

Dichas uniones metálicas representan una mejora en la resistencia y disposición entre cada pieza de madera Cumala por los cuidados que hay que tener en los empalmes. Estos nuevos parámetros se establecerán en base a temas como óxidos, presión, vibración, defectos de área tributaria (separación entre pernos.).

Teniendo como referencia el acuerdo de Cartagena y el Reglamento Nacional de Edificaciones para la madera (RNE-E0.10)

1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las uniones empernadas en maderas normadas (densidad 0.4-0.9 gr/cm³) son idóneas para la fabricación de componentes estructurales en la edificación de viviendas o similares, por lo que el presente estudio pretende demostrar que la madera Cumala, cuya densidad es menor a 0.4, es también apta para ser empleado como un elemento estructural económico respecto de los materiales convencionales y las maderas que se encuentran normadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-E.010).

1.8 METODOLOGIA DE TRABAJO

En el desarrollo de la presente tesis, se recopilarán datos de laboratorio ensayando la madera Cumala a compresión, doble cizallamiento en paralelo; con elementos de 2cm y 4cm de espesor de la madera, los elementos laterales tendrán un espesor igual a la mitad del espesor del elemento central.

Para las uniones se usarán de 1 a 3 pernos de 1/4" de diámetro con una carga paralela a la fibra.

Teniendo en total 06 combinaciones de ensayos

1. La primera combinación sería unión con un solo perno 1/4" y un espesor a ensayar de 2cm
2. La segunda combinación sería unión con un solo perno 1/4" y un espesor a ensayar de 4cm
3. La tercera combinación sería unión con dos pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 2cm
4. La cuarta combinación sería unión con dos pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 4cm
5. La quinta combinación sería unión con tres pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 2cm
6. La sexta combinación sería unión con tres pernos 1/4" y un espesor a ensayar de 4cm

Para cada combinación se realizarán un número de 15 ensayos. Por lo tanto, el número de ensayos totales a realizar sería 90.

CAPITULO II: MADERA

2.1 GENERALIDADES.

La madera ha formado parte, total o parcialmente, de las edificaciones construidas por el hombre desde el mismo neolítico; antes de que el ser humano tenga a disposición artefactos con suficiente destreza para cortar y trabajar la madera, es factible que ya utilizara la madera como materia prima para la construcción de sus refugios primitivos (Hansen, 1948).

El ser humano empieza a elaborar chozas en lugares en los cuales las guaridas no suministraban la garantía suficiente de supervivencia y uno de los posibles materiales iniciales para la construcción de estas chozas habrían sido ramas de madera que se obtenían tanto como de la recolección del suelo como ramas arrancadas de los árboles. Después de un tiempo, herramientas tales como los cuchillos y hachas de piedra afilada le posibilitaba cortar troncos más firmes, y pulirlos hasta obtener un material de construcción mucho más consistente. (Hansen, 1948).

Pocos materiales poseen la capacidad de remembranza como la madera. Durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades y, aún en nuestros días, tipologías ancestrales continúan siendo válidas. La madera ha sido uno de los primeros materiales empleado por el ser humano para la construcción de viviendas, elaboración de utensilios, artefactos para la caza, etc (Keenan, 1987).

Actualmente el Perú ocupa el segundo lugar, debajo de Brasil, en lo que respecta al número de hectáreas de bosques tropicales (71 millones) en América Latina.

Si bien es sabido que el Perú es un país rico en producción de madera como materia prima, la industria forestal no ha podido prosperar completamente, debido a las restricciones de la cantidad de especies aprovechadas con respecto a la cantidad total de especies aptas para la incursión en el mercado. Los registros forestales desarrollados en el Perú han inventariado menos de 600 especies de madera, ante un aproximado de 2500 especies calificadas para comercializar.

La madera en el Perú se distribuye en dos fases: la primera fase se da en la interacción entre el bosque y la manufactura (madera en forma de rollizos) y la segunda fase se da en la interacción entre el área manufacturera y el cliente, y

debido a esta división de fases, se generan incrementos insostenibles con respecto a su precio. (SERFOR, 2016).

La madera está conformada por células longitudinales y transversales de distintos tipos, según las funciones que ejercen en el árbol. Las células longitudinales se despliegan desde las raíces hasta la cresta, mientras que las transversales apuntan desde la médula a la cubierta del tronco del árbol. (Delgado, 1981)

Las especies de madera que son originarias de los bosques tropicales son llamadas maderas tropicales, denominadas también por el nombre de latifoliadas o frondosas, se distinguen tanto en el exterior como por el fondo de las maderas coníferas, las cuales crecen generalmente en climas templados. En el territorio peruano existen ciertas especies de coníferas de bosques naturales en condicionada magnitud y de otras zonas reforestadas. A pesar de ello, las especies tropicales son las que poseen mayor aforo y por lo ende mayor protagonismo.

Las distinciones entre maderas de coníferas y latifoliadas, muestran una particularidad evidente en el comportamiento mecánico, por lo tanto se puede inferir que las diferencias son notorias en sus parámetros de resistencia y rigidez. (Delgado, 1981).

A partir del párrafo anterior se puede afirmar que, a una misma densidad, las maderas latifoliadas de los bosques tropicales poseen un mayor valor en sus parámetros de resistencia que las maderas coníferas. Los parámetros de rigidez de las maderas latifoliadas con respecto a las coníferas son similares o en ciertos casos superiores. Se ha podido observar en la gran mayoría de ensayos de vigas a escala natural grandes deformaciones antes de que el espécimen colapse; una vez liberada la carga del espécimen, éste restablece casi toda la distorsión generada por la carga inicial, por lo que se puede deducir que no existe plastificación del elemento y por lo tanto tiene un buen comportamiento resiliente.

2.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICION DEL TRONCO DE MADERA

El tronco es la parte principal de un árbol maduro y es de la cual se extrae la madera. La sección perpendicular al eje principal del tronco se divide en las siguientes partes (Espinal et al, 2005):

a) La médula. Se encuentra mayormente en el centro del tronco. Está conformada por células endebles, que suelen tener una consistencia esponjosa, debido a esto generalmente se desprende cuando la madera se seca. El diámetro puede variar entre un centímetro hasta menos de un milímetro.

b) El duramen. Es la región que envuelve a la médula. Tiene un color opaco y está conformado por células muertas saturadas de lignina que sustituye el agua que se encuentra en las membranas celulares, es por eso que le dan mayor resistencia ante el ataque de insectos y hongos. Sus dimensiones están ligadas al tipo de planta y de su tiempo de vida.

c) La albura. Es conocida por ser la parte verde de la madera. Corresponde a los últimos anillos de crecimiento de la planta. Su función principal es el transporte de las sales minerales y el agua de las raíces a las hojas (elemento xilemático); es la parte más clara y su región se altera de acuerdo al tipo de especie.

d) Cambium. Es el tejido que se ubica entre la corteza y la madera. Conformar la base del crecimiento del árbol.

e) Corteza interior. También conocida con el nombre de ritidoma. Cobertura extremadamente delgada que se encarga del transporte de la savia elaborada a través de la fotosíntesis (elemento floemático).

f) Corteza exterior. Es la cobertura superficial del tronco, es la parte encargada de la protección ante agentes externos, debido a esto la corteza está constituida de células muertas.

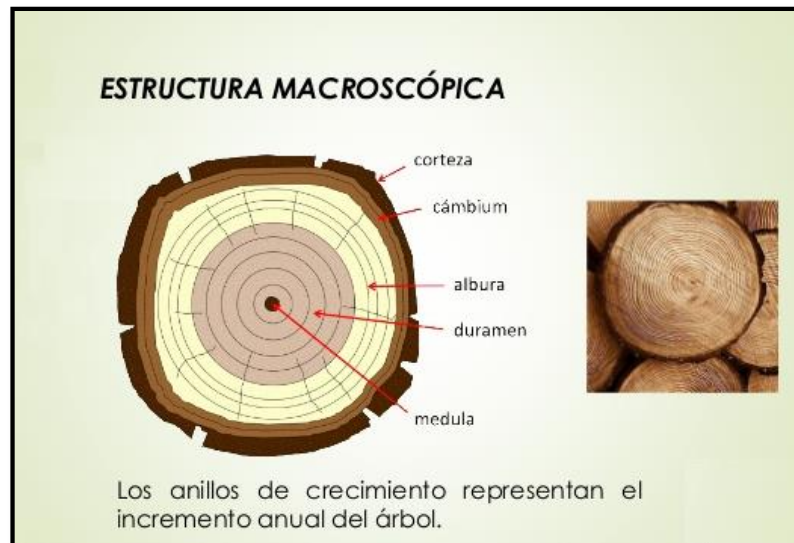


Figura Nº 2.1: Estructura macroscópica de la madera.
Fuente: Escuela Politécnica nacional, Facultad de Ing. Ambiental.

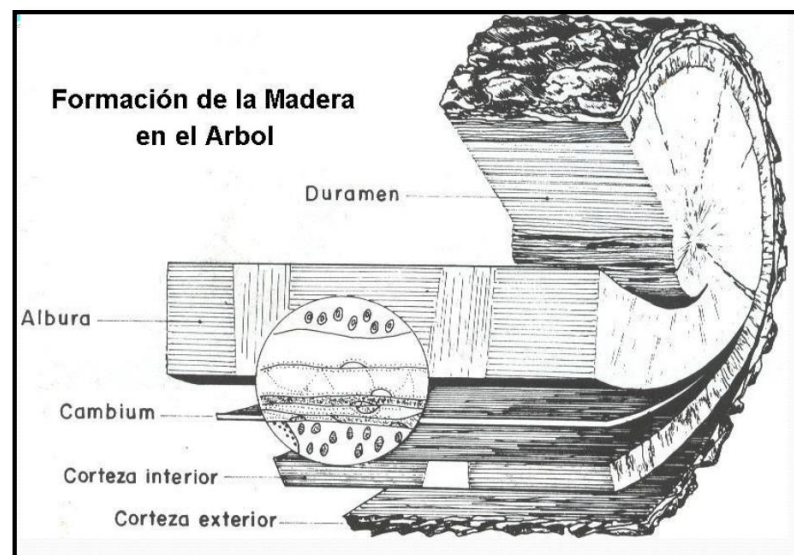


Figura Nº 2.2: Estructura general de la madera.
Referencia: Taller educacional UPEL. Sites.google

La madera está compuesta por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, que están presentes en todas las maderas. La otra agrupación lo conforman las sustancias de pequeña masa molar conocidas también como sustancias extraíbles, éstas se encuentran en una menor cantidad, y por último las sustancias minerales. La proporción y composición química de la

lignina y las poliosas difiere para las maderas coníferas y latifoliadas, mientras que la celulosa es casi similar en composición en todas las maderas. (Quiñones, 2016).

Como toda estructura de origen natural, la composición en elementos químicos de las maderas tiene la siguiente distribución: carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (0.2%), aparte de los elementos mencionados existen otros elementos inorgánicos en menor cantidad como sodio, calcio, fósforo, etc. (Quiñones, 2016).

El tronco es la parte del árbol que utiliza como madera estructural el cual tiene tres tareas principales: conducción de savia bruta y elaborada, sostén y provisión de elementos de reserva. Para poder ejecutar estas tareas, la madera cuenta con tres tipos de tejidos: tejido vascular (de conducción), tejido fibroso (de sostén) y tejido parenquimático (de provisión) (Monteoliva et al, 2002)

Se denomina elementos prosenquimatosos a todas las células alargadas y que contengan paredes abultadas, las cuales debido a las características mencionadas están asociadas a la conducción y sostén. Por el contrario, se denominan elementos parenquimáticos a las células pequeñas y de paredes tenues, y que debido a esto tienen como tarea distribuir y almacenar los elementos de reserva.

El tronco contiene dos sistemas de elementos xilemáticos que en conjunto aportan al transporte y procesamiento del xilema. El sistema longitudinal que está formado por elementos prosenquimáticos (elementos traqueales, vasos, fibras o fibrotraquídeas) y el sistema transversal, conformado básicamente por elementos parenquimáticos (Espinal et al, 2005).

Para poder visualizar los tipos de elementos y consistencia de la madera se realizan planos de corte perpendiculares entre sí, estos planos de corte son los siguientes: Sección longitudinal radial: Es el plano resultante generado por un corte paralelo al eje del tronco que parte desde la médula hacia la corteza. Sección longitudinal tangencial: Es el plano perpendicular a la sección longitudinal radial, es decir es generado por un corte paralelo al eje del tronco pero tangente a los anillos de crecimiento de éste. Sección transversal: Es el plano perpendicular tanto a la sección longitudinal radial como transversal, o sea es perpendicular al eje del tronco. El objetivo de tener los detalles en los planos de corte ya mencionados es

poder entender la estructura de la madera a nivel microscópico y macroscópico. (Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, 1984).

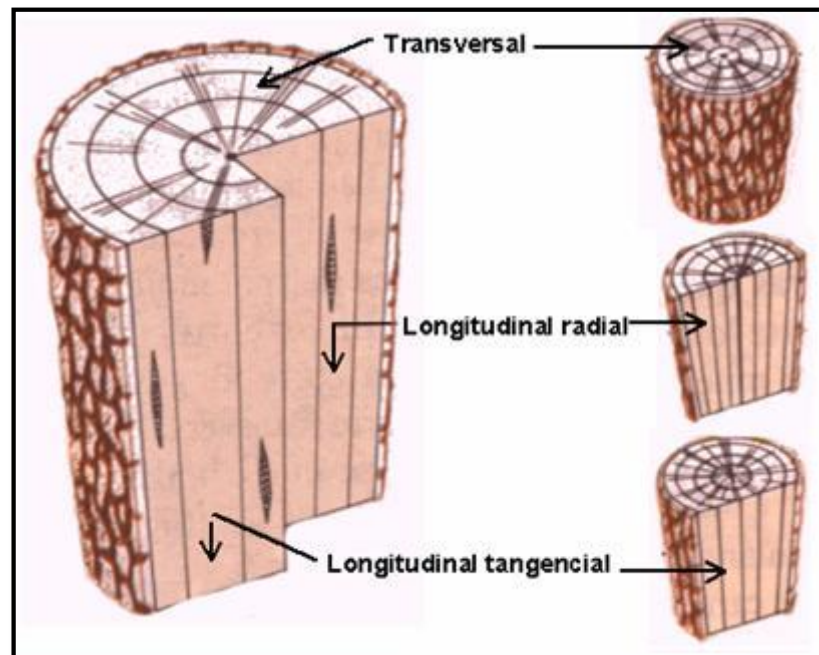


Figura N° 2.3: Plano de la madera.
Fuente: Arqhys Arquitectura Sites.google

2.3 TIPOS DE MADERA

Algunas de las formas de clasificación más importantes son mediante sus propiedades, estructura y textura, los cuales dependen del modo (lugar y clima) de crecimiento del árbol (Gonzáles 2007).

A continuación se presenta la clasificación de acuerdo a su estructura anatómica (Coníferas y latifoliadas) y además una descripción para cada una de ellas. (Gonzáles 2007).

Coníferas. –En este tipo de planta, la madera tiene una estructura anatómica uniforme, y está conformada por células leñosas; estas conforman aproximadamente el 85% del volumen de la madera y tienen la función de conducción y sostén. Además, presenta un bajo porcentaje células parenquimáticas.

Latifoliadas. – En este caso, la madera presenta una estructura anatómica variado, conformada por una variedad mayor de células leñosas que las coníferas, como por ejemplo: los vasos o poros que poseen el cometido de conducir el agua y sales minerales (savia bruta y elaborada). Estas células conforman

aproximadamente el 50% del volumen total de la madera, siendo este promedio superior en maderas blandas y porosas. También hay presencia de células fibrosas, que como se dijo anteriormente cumplen con la función de sostén y que conforman el otro 50% del volumen de la madera; a mayor porcentaje de células fibrosas, mayor densidad y por lo tanto mayor rigidez y resistencia.

De acuerdo al modo de crecimiento (lugar y clima), se pueden clasificar de la siguiente manera (Acuña et al, 2006):

Maderas frondosas. Son maderas que son típicas de regiones templadas a tropicales. Existen tres tipos dentro de esta clasificación: finas, blandas y duras.

- *Maderas finas o exóticas.* Son las mejores en relación a la trabajabilidad y por lo tanto posibilitan excelentes acabados.
- *Maderas blandas.* Son maderas que proceden de árboles de activo crecimiento, debido a esto contienen anillos de crecimiento dilatados y son flexibles.
- *Maderas duras.* Estas maderas proceden de árboles de crecimiento sosegado, y por lo tanto contienen anillos delgados pero rígidos.

Dentro de las finas generalmente se tienen árboles frutales: manzano, olivo, cerezo, nogal, etc. Entre las blandas están: castaño, abedul, chopo, etc. Dentro de las duras se encuentran: roble, encina, haya, entre otras.

Maderas resinosas. Regularmente son maderas de crecimiento gradual, esto es propio de zonas no tropicales (templado y frío). Tienen buenas propiedades en lo que se refiere a trabajabilidad, resistencia y rigidez. Estas maderas son las que más se utilizan en ebanistería y en construcción (elementos estructurales). Algunos ejemplos son: el pino, el alerce, el abeto, etc.

2.4 ASERRADO DE LA MADERA

Después de ser talado de su ambiente natural, el primer proceso al que se expone el tronco de madera es el aserrado. Usualmente se ejecuta a través de sierras de banda o utilizando sierras circulares. Se escoge el tipo de sierra de acuerdo a las dimensiones requeridas de madera que se desean o al tamaño del tronco del árbol. (Tuset & Duran, 1986).

De la misma manera que se utilizan los planos de corte para poder visualizar correctamente la madera, se puede utilizar esas 3 secciones y definir los tipos de corte para la madera aserrada: Análogamente a la sección longitudinal radial se

obtienen las maderas de corte radial, el proceso es similar para las otras dos secciones, generándose la madera de corte tangencial proveniente de la sección longitudinal radial y la madera de corte transversal que deriva de la sección transversal de la madera. (Tuset & Duran, 1986).

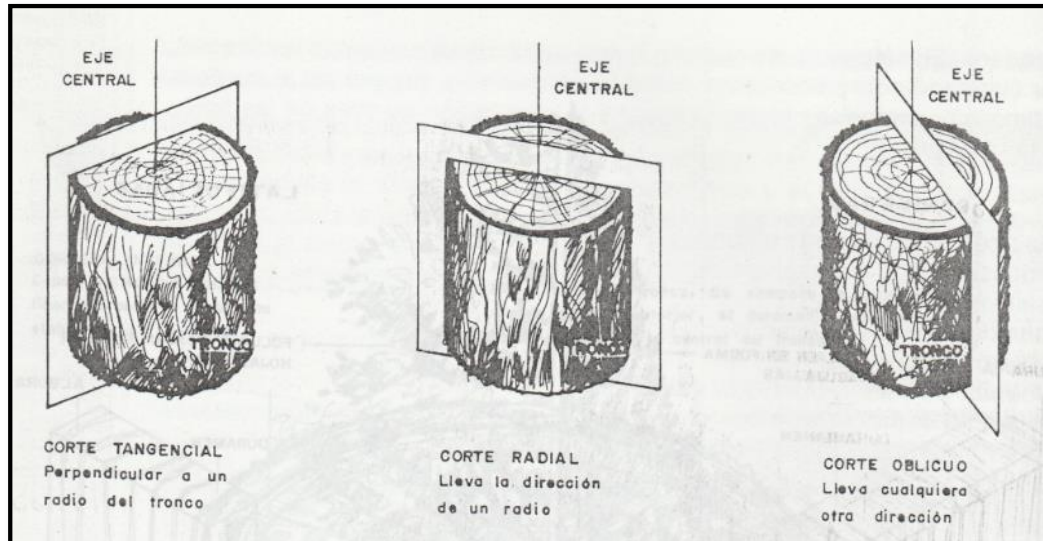


Figura N° 2.4: Planos de corte según su ubicación en el tronco.
Fuente: Adaptado de Tuset & Duran, 1986

La madera de corte transversal tiene un empleo estructural de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones RNE E010 en el apartado 2.3 – “Madera Rolliza de uso estructural”, tal como se observa en la Figura N°2.4 – sin embargo no se refiere específicamente a la utilización en uniones estructurales de madera con este tipo de cortes en la madera, pero se puede utilizar los procedimientos de diseño y construcción de elementos estructurales sin utilizar uniones estructurales, como por ejemplo: columnas, entablados, vigas.

En el caso de la madera de corte longitudinal, de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones RNE E010 en el punto 2.4 – “Madera laminada Encolada” - se detalla como madera laminada a la madera estructural obtenida del acoplamiento de tablas entre sí, con el grano paralelo al eje del tronco y que funciona como un solo elemento.

Se puede llegar a la conclusión que las maderas con cortes longitudinales se pueden usar en uniones empernadas para que funcionen como elementos estructurales. Entre estos tipos de cortes se tiene el de corte tangencial y el de corte radial; en la cual el mejor bloque es el de corte tangencial debido a que a

diferencia del bloque de corte radial no contiene fibras del duramen o la médula las cuales son débiles y generarían discontinuidades de esfuerzos y posibles fallas estructurales.

2.5 MADERA PARA LA CONSTRUCCION

Las múltiples edificaciones hechas a base de madera se deben diferenciar en dos tipos de material.

El primer tipo es la madera de construcción que tiene un propósito de acabados y tabiquería, tales como ventanas, puertas, zócalos, revestimientos, muebles, etc. La característica principal de este grupo es que la madera no está propuesto para recibir o resistir cargas estructurales.

En el otro grupo se encuentra la madera estructural, es decir todos los elementos que forman parte de la estructura y necesitan cálculos previos para su diseño y construcción, por ejemplo: entablados, columnas, vigas, correas, pórticos, techos y otros elementos que conforman la estructura de la edificación.

De acuerdo a La Junta del Acuerdo de Cartagena, se resolvió de en la propuesta de una clasificación para las maderas estructurales en función a su densidad, las cuales corresponden a los tipos A, B y C. La madera tipo A corresponde a las maderas con densidades entre 0.71 g/cm³ y 90 g/cm³, la madera tipo B que corresponde a las maderas con densidades entre 0.56 g/cm³ y 0.70 Kg/cm³ y el grupo C que corresponde a las maderas con densidades entre 0.40 g/cm³ y 0.55 g/cm³. Como se puede observar, la madera de tipo A es la más resistente, siguiendo la madera de tipo B y por último la madera de tipo C.

| GRUPO | DENSIDADES BASICAS (g/cm³) |
|--------------|--|
| A | 0.71 – 0-90 |
| B | 0.56 – 0.70 |
| C | 0.40 – 0.55 |

Cuadro Nº 2.1: Clasificación de la madera en función a sus densidades básicas. Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena

Debido a su muy baja densidad, no se puede colocar a la madera Cumala en ningún grupo de clasificación de la Junta de Acuerdo de Cartagena, y es por eso que es necesario un nuevo grupo de clasificación para maderas con densidades inferiores a 0.40 g/cm³. Esto aportaría a poder clasificar otras maderas (parecidas a la Cumala) a que puedan ser clasificadas y caracterizadas eficientemente.

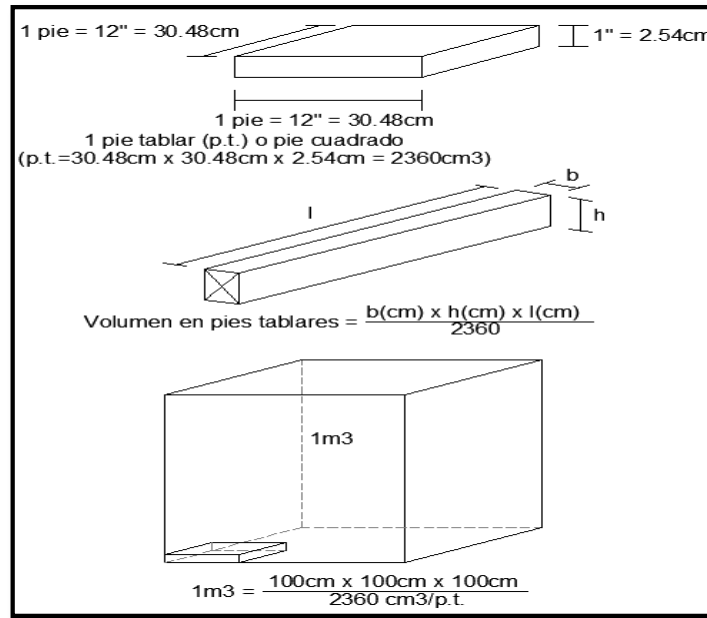


Figura Nº 2.5: Maneras de cubicar la madera
Fuente: Manual de diseño para maderas del grupo andino

2.6 PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA CUMALA

- PERTENECE A LA ESPECIE. *Virola sebifera*
- INTEGRANTE DE LA FAMILIA. *Myristicaceae*.
- OTROS NOMBRES COMUNES. Cumala roja, Aguanillo, Cumala de altura.
- NOMBRE CIENTIFICO. *Dyalianthera* sp.
- NOMBRE COMERCIAL INTERNACIONAL. Conocido como *Virola*
- SU ORIGEN. Proviene de zona Tropical

Características 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 madera Cumala se caracteriza por tener un peso medio, además contracciones lineales bajas y contracción volumétrica medianamente estables. En cuanto su resistencia mecánica se encuentra en el extremo de la categoría media - baja (Pinchi Reategui, 2016).

Propiedades físicas de la madera Cumala

- **Densidad básica.** Es el resultado de la división entre el peso anhidro de la muestra y su volumen saturado, el valor es de 0.38 gr/cm³ para la madera Cumala.
- **Contracción radial.** Es la que se genera perpendicular a las fibras, mediante anillos de la propia madera Cumala y su valor es de 4.45%
- **Contracción tangencial.** Es la que se genera en las direcciones tangentes a los anillos de la propia madera Cumala y su valor es de 9.87%.
- **Contracción volumétrica** Es la diferencia volumétrica entre los estados de saturación y anhidro de la madera Cumala y su valor es de 13.40%
- **Relación T/R.** es la división o relación entre el aumento tangencial y el aumento radial de la madera Cumala y su valor es de 2.30.

Propiedades mecánicas de la madera Cumala

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

Características de procesamiento y acabado

- Presenta una Durabilidad natural media-baja
- Comportamiento al secado Natural muy bueno

- Presenta una Trabajabilidad excelente

Su presencia en el mercado es no estructural, ya que su uso hoy está destinado en mueblería, decoración de interiores, marcos de puertas, ventanas, enchape decorativo, entre otras, con este trabajo se quiere orientar a su uso estructural.

Recomendaciones técnicas

- Mencionar que la madera Cumala presenta baja resistencia mecánica es por ello que facilita el aserrío; al igual que su Trabajabilidad es buena en cuestiones de cepillado, moldurado y permite su fácil taladrado.
- También se menciona su baja durabilidad y es propenso al ataque biológico, así es que se necesita aplicación de preservantes. (Pinchi Reategui, 2016).

2.7 MANTENIMIENTO DE LA MADERA

Las estructuras en madera requieren de un mantenimiento periódico, con una inversión relevante debido a los costos que representa. Por otro lado la realidad de este país en este tema es sinónimo de desconocimiento y no damos la suficiente importancia en conocer los cuidados como para asegurar su eficacia. El poco tiempo de vida de la estructura depende directamente con el comportamiento defectuoso. Es por ello que muchos de los materiales son reemplazados durante su tiempo de trabajo. Así como son reemplazadas por falta de preservantes para el cuidado de la madera ante los agentes biológicos.

El correcto mantenimiento periódico representa bondades, mantener el valor de la estructura de madera, aumentar su vida útil, realzar la imagen corporativa, e corregir problemas menores antes que sean de mayor cuantía, y que representen costos de mantenimiento más elevados.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el punto 9.3.1.3 los pernos empleados en todas las conexiones, ya deben de estar adecuados para soportar la humedad del ambiente o los agentes corrosivos que pueda encontrarse en la madera

Cuidados a tener en cuenta:

- existencia de corrosión durante la fijación de la protección contra la corrosión

- retirar el óxido si existiese en el elemento metálico antes de aplicar pintura epoxica.
- evitar tener capa delgada de pintura de protección sobre la fijación

El procedimiento adecuado es el siguiente. Mediante una brocha echar cuidadosamente sobre la cabeza del perno un removedor químico que elimine la corrosión; después usar pintura con alto contenido en zinc, 02 capas.

Si estamos en el caso de existencia de insectos en la madera (probablemente por estar sin tratamiento) se procede a cambiar la madera afectada, es por ello que se recomienda barnizar o pintar la madera en su instalación final.

2.8 EFECTOS AL EMPERNAR LA MADERA

La perforación de la madera por lo general se lleva a cabo con el sistema broca metálica y taladro eléctrico, se debe trabajar con una velocidad adecuada según el tipo de madera, espesor de broca y profundidad requerida. Tener una velocidad que supera lo necesario es negativo en la madera y broca: la broca obtiene una temperatura excesiva y la madera termina por tornarse negra. Por ejemplo, si tenemos 25 mm de diámetro, la velocidad de rotación debe ser de 150 vueltas/minuto, si las dimensiones son inferiores, la velocidad debe ser al menos a 500 vueltas/minuto. Cuando la profundidad del orificio es considerable, es necesario perforar en etapas e intervalos de tiempo, retirando la madera molida depositado en la broca. Este proceso, optimiza el rendimiento del perforado.

Existen muchos tipos de brocas, pero el utilizar la broca adecuada es muy importante para que el trabajo sea más fácil y con mejor resultado, y lo más importante: se pueda llegar a ejecutar.

Las calidades de broca dependen según los componentes de fabricación y la temperatura a la que fue hecha. La calidad de la misma tiene relación directa con el resultado y en su tiempo de vida. Dicho esto, es aconsejable utilizar brocas de calidad, en el caso del presente trabajo, la broca de tres puntas es la más recomendable y es la broca que se usó.

Brocas de tres puntas para madera

Estas brocas son las más recomendadas para taladrar madera y están fabricadas con acero al cromo vanadio. Se caracteriza por tener tres puntas en la cabeza, la

central que tiene la función de penetrar y centrar correctamente la broca, y las puntas laterales van descendiendo y cortando el material dejando un orificio. Se utilizan para todo tipo de maderas: duras y blandas.



Figura N° 2.6: Brocas de tres puntas

Al taladrar las maderas ocurre a veces el fenómeno de astillamiento de la madera sobre todo en la etapa final al retirar el taladro. Este astillamiento es más evidente en materiales de baja densidad como es el caso de la madera Cumala.

Para minimizar este fenómeno se debe utilizar la broca bien afilada y compatible al material a taladrar. Se sabe que en maderas se debe usar una broca de tres puntas. Para reducir el problema se utiliza otra madera inservible a modo de apoyo que se pone debajo de la madera a taladrar, así movemos y hacemos imaginariamente el borde más profundo evitando dañar el borde de nuestra madera.

2.9 LA MADERA EN EL PERU Y EL MUNDO

Existen entidades encargadas de la explotación de madera para su uso en el sector construcción (encontrados, puntales, vigas y planchas para placas de concreto) y también para la utilización generalizada como barcos, travesaños de ferrocarril, muebles y ebanistería. Los principales países productores de madera son, en el continente americano (Estados Unidos, Canadá y Brasil.) En el continente europeo y asiático (Rusia, Japón, Suecia, Alemania, Polonia, Francia y Finlandia.) Muchas tipos de madera son muy cotizadas, como la caoba, el ébano

o el palo de rosa, que abundan en algunos países tropicales de Asia, Sudamérica y África y son utilizados en la industria de muebles.

En nuestro país existen más de 2.490 tipos forestales, de las cuales aproximadamente 250 han estado bajo investigación para fines comerciales. A pesar de eso, el mercado nacional de maderas se limita a apenas 110 especies, e incluso de éste pequeño grupo, sólo 20 han terminado de ser estudiadas e identificadas, en consecuencia a ello un gran grupo de maderas se comercializan como maderas ordinarias.

Los tipos de madera que tienen un alto valor y demanda en el mercado, sobresalen la caoba, el tornillo, el cedro, el ishpingo, la catahua, copaiba, la cumala y la moena que son de múltiples usos y la del tipo como la lupuna en la producción triplayera. La diversidad de especies en nuestros bosques nos reta a tener un plan integral que eleve el valor agregado generado en la producción maderera y llevar la actual producción forestal de 6 metros cúbicos por hectárea hasta 40 metros cúbicos por hectárea.

Resultado de planes ya establecidos se está aumentando la explotación de bosques y se está incorporando aproximadamente 30 especies al mercado de maderas con una gran aceptación, entre aquellas las siguientes: capirona, pumaquiro, congora (machinga), shihuahuaco, aguano masha, andiroba, cachimbo. Las cuales son reemplazos de algunas maderas finas como la caoba y el cedro.

Los recientes estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), nos dicen que mientras el consumo de madera per cápita promedio en Iberoamérica subió a 1,63 metros cúbicos al año, en nuestro país es solo de 0,6 metros cúbicos, el más bajo de nuestro continente. Esto es en parte, por el bajo consumo de madera, no obstante el consumo de madera se ha visto aumentado estos últimos tiempos por la difusión de viviendas de tipo dual (madera - material noble).

2.10 DIMENSIONES COMERCIALES

Para el correcto empleo de la madera, es primordial saber qué tipo madera se ha de utilizar, y para eso existe variedad de dimensiones y tipos de madera en el mercado.

Cerco. – esta disposición de la madera se ha dado en mayor grado en corrales para animales, caballerizas, etc. Su ancho y espesor se encuentran entre 7 y 10 cm y su longitud varia de 2.10 a 3m de alto.

En vigas cuadradas. – su uso es de encofrado para construcciones y miden una longitud por ejemplo de 7 a 12m, que le corresponde una sección de 15x20 a 35x35cm

Viguetas. -mayormente su uso es para tarimas y pequeñas estructuras, por ejemplo para un ancho entre 6 y 14cm le corresponde una longitud comprendida entre 3 y 5m.

Correas. – trabajan en armaduras de techos de grandes luces. Para una dimensión entre 3.5 y 5 cm de grueso, 4.5 y 6.5cm de ancho le corresponde una longitud de 6 a 8m.

| Tipo de certificación | Razón social | Ciudad | Distrito | Provincia | Departamento |
|---|--|--|--------------------|-----------------------|---------------|
| Certificación de manejo forestal FSC | Aseradero 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 IINC S.A.C. | Pucallpa | Callería | Coronel Portillo | Ucayali |
| | Comunidad Nativa Puerto Esperanza | Atalaya | Raimondy | Atalaya | Ucayali |
| | E y J Matthei Exotic Timber SRL | Pucallpa | Callería | Coronel Portillo | Ucayali |
| | Certificación de cadena de custodia FSC | Aseradero Espinoza S.A. (Almacenes Lima) | Barrio el Artesano | Lurin | 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 |
| BOZOVICH USA - Alabama - Bozovich Timber Products Inc. (BTP) | | Lima | | Lima | Lima |
| BOZOVICH MEXICO - Bozovich S.R.L. de C.V. (BZM) | | 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 | Callería | Coronel Portillo | Ucayali |
| UNIVERSAL FLOORING SAC | | Lima | | | Lima |
| Forestal Río Piedras S.A.C | | | | | Madre de Dios |
| Maderas Peruanas S.A.C. (Mapesac) | | Pucallpa | Callería | Coronel Portillo | Ucayali |
| Aseradero Espinoza S.A. (Almacenes) | | Lima | | | Lima |
| Corporación Forestal Claudita S.A.C. | | Lima | | | Lima |
| Centro de Transformación e Innovación Tecnológica Indígena SRL (CITEINDIGENA) | | Pucallpa | Callería | 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 |

Cuadro Nº 2.2: 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</i> sp. | 5,90 |
| Congona | <i>Brosimum</i> sp. | 4,20 |
| Copaiba | <i>Copaifera</i> sp. | 3,80 - 4,00 |
| Cumala | Myristicaceae | 2,20 - 3,60 |
| Cumala (seca al horno) | Myristicaceae | 2,80 |
| Huayruro | <i>Ormosia</i> sp. | 4,20 - 5,20 |
| Moena | Lauraceae | 4,20 - 5,50 |
| Panguana | | 2,80 |
| Pino | <i>Pinus</i> sp. | 1,80 - 2,20 |
| Pino chileno | <i>Pinus</i> sp. | 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</i> sp. | 1,00 |
| Cumala | Myristicaceae | 0,90 |
| Yacushapana | <i>Terminalia</i> sp. | 1,00 |

*No incluye IGV

**Cuadro N° 2.3: Precio de la madera aserrada en Lima
Fuente: Cámara Nacional Forestal**

CAPITULO III: PERNOS.

3.1 DEFINICION.

El perno es una pieza metálica que se utiliza como un elemento de unión o junta estructural. Está relacionada con el tornillo que tiene cabeza redonda, el perno hexagonal tiene un extremo de cabeza hexagonal, una parte lisa, y otro extremo roscado para la tuerca y arandela, y se usa para sujetar piezas en un sistema estructural, por lo general de gran volumen. Un espárrago, en cambio, es un perno sin cabeza, roscado en sus dos extremos. Normalmente son fabricados de acero o hierro de diferentes durezas o calidades, 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.

Los pernos tienen diferentes tipos de cabezas: redondas, hexagonales, avellanadas y otras más. Las dimensiones de un perno pueden estar en unidades métricas o pulgadas. (Álvarez & Martitegui, 2003. Estructuras de madera: diseño y calculo).

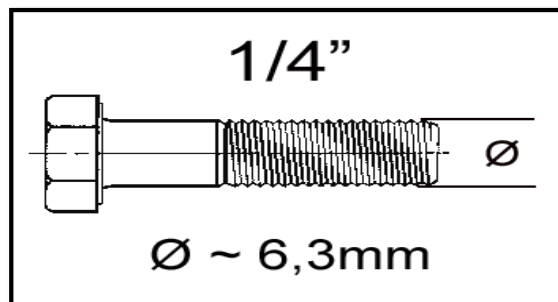


Figura Nº 3.1 Perno Hexagonal de 1/4" (Fuente: Álvarez & Martitegui, 2003)



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

3.2 CLASIFICACION.

Se agrupan por el tipo de material, la forma de la cabeza, por el tamaño, por la forma y profundidad de las roscas, diámetro nominal y por su sistema de sujeción (Álvarez & Martitegui, 2003).

- Por el tipo de material: La mayoría de las veces son de acero, ya que deben soportar grandes pesos. Los pernos son comúnmente utilizados para diferentes tipos de esfuerzos, por lo cual el material siempre debe ser resistente según su uso. Con respecto a las tuercas, éstas son de un material menos resistente que al del perno.
- Por la forma de la cabeza: Mayormente es de tipo hexagonal (se atornilla sobre la cabeza de la biela, y tiene que ser enroscado en toda su longitud). También puede ser redondeada, cuadrada, o asimétrica.
- Por el tamaño: Existen variedad de dimensiones, medidos en pulgadas generalmente.
- Profundidad de las roscas: Son llamadas también altura del filete, es la semidiferencia entre los diámetros exterior e interior o la distancia 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.

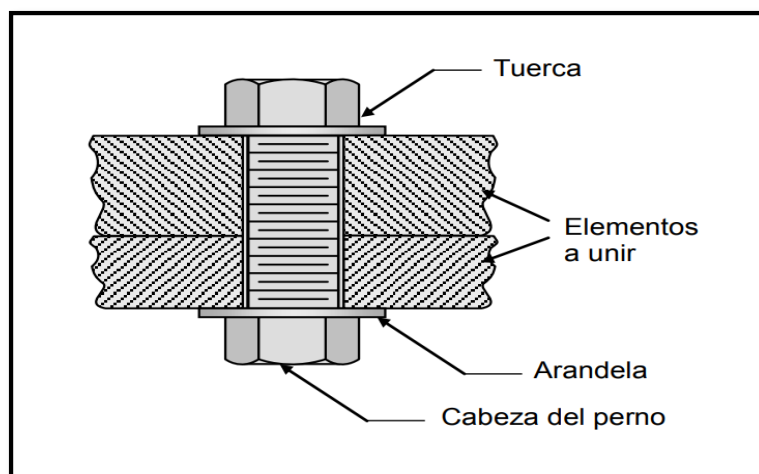


Figura N° 3.3
Partes del Perno. (Fuente: Área Tecnológica Sites.google)

3.3 PERNOS EN EL MERCADO PERUANO

Hay pernos con características parecidas al perno patrón utilizado en el presente estudio, que están presentes en nuestro mercado nacional. Las variaciones existentes son en función de la geometría y resistencia:

- 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

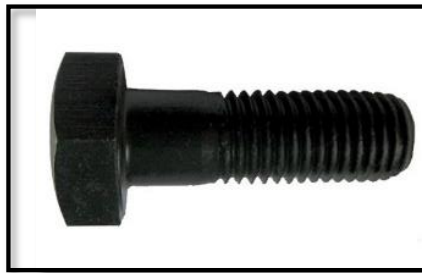


Figura N° 3.4
Perno hexagonal. (Fuente: Sodiper Sites.google)

- Perno de tensión controlada, ASTM A 325 TC. Formado por perno, tuerca hexagonal y arandela plana. Hecho de 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.
- Materia : Acero Medio Carbono con tratamiento térmico
- Recubrimiento : Fosfatizado y Aceitado
- Uso : Uniones estructurales exigidas mecánicamente, facilitando su montaje y evitando su reutilización

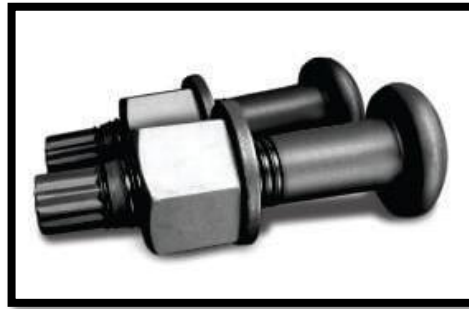


Figura Nº 3.5
Perno de tensión controlada. (Fuente: Sodiper Sites.google)

- Perno de coche: Perno de cabeza circular u hongo, con superficie de Apoyo plana 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



Figura Nº 3.6
Perno de coche. (Fuente: Pernoal Sites.google)

- 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



Figura N° 3.7

Perno con cabeza pan. (Fuente: Pernoal Sites.google)

- 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

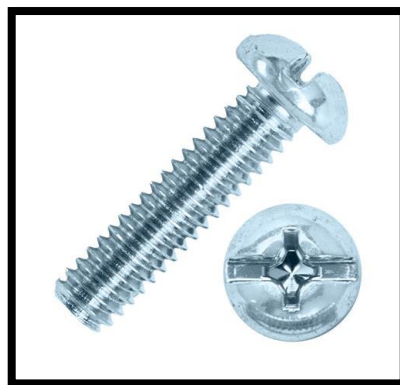


Figura N° 3.8

Perno con cabeza combinada. (Fuente: Pernoal Sites.google)

3.4 DISTRIBUIDORES DE PERNOS EN EL PERU.

- **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.
- **PEAPRE SAC.**
Panamericana norte km 33. Puente piedra-lima
- **IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA VILCANOTA S.A**
Av. Mariscal nieto 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 HEROES 347ª SAN JUAN DE MIRAFLORES
- **GRUPO MENDOZA (PERNOS Y TUERCAS)**
Calle Omicrón 340-348 parque de la industria y comercio callao.

3.5 NORMAS QUE RIGEN LOS PERNOS ESTRUCTURALES.

Los pernos son muy importantes en el comportamiento general de la estructura de la que forman parte. El conocimiento de las características y comportamiento de los pernos es necesario previamente a la realización del cálculo de las uniones empernadas. En el Perú las normas internacionales que rigen los pernos estructurales más reconocidos son:

ASTM : American Society for Testing and Materials.

ISO : International Organization for Standarization.

SAE : Society of Automotive Engineers.

DIN : Deutsches Institut fur Normung.

El sistema perno, tuerca y arandela, están mencionados dentro de los códigos emitidos por las normas mencionadas, que mediante pruebas y cálculos han demostrado ser las normativas adecuadas para usarse en el diseño de uniones empernadas y en nuestro caso, el de las maderas empernadas.

Comparando las normas que rigen nuestros pernos en particular. El ASTM A325, ASTM A490 y el ASTM A307. Y según grupo o tipo (I, II y III). El tipo III es fabricado y mejorado para resistir la corrosión atmosférica en comparación del tipo I, el tipo II ha sido retirado del mercado.

El perno A325 es fabricado bajo tratamiento térmico y con un acero temperado de medio carbono, 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 equivalentes al grado 1 o 2 de la norma SAE j429 y se presenta en 3 grados.

A307 grado A, pernos con resistencia de 60 KPSI.

A307 grado B, pernos con resistencia de 60 a 100 KPSI.










A307 grado C, Anclajes Fabricados Con El ASTM A36.

Estos pernos son usados en uniones de estructuras no sujetas a impactos o vibraciones. Fabricado en acero de bajo contenido en carbono y sin tratamiento térmico. Estos tornillos también conocidos como tornillos comunes, se aplican principalmente en estructuras ligeras y de aplicaciones similares, en las que las fuerzas son estáticas y relativamente bajas. 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.

Las arandelas están bajo la norma ASTM F436, su función es de aportar una superficie endurecida no abrasiva bajo la cabeza del tornillo o la tuerca. Las arandelas tienen la finalidad de proteger la superficie exterior del material juntado a fin de evitar las consecuencias de desgaste de este material por el giro de la tuerca en la instalación con el perno. Además para ayudar a optimizar la fuerza de

sujeción en la instalación del perno y para proporcionar superficies de dureza consistentes. (Vinnakota 2006).

Cuadro N° 3.1. Equivalencias de normas internacionales usadas para identificar el grado de dureza de los pernos.

| 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> |

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. En el Perú la norma principal para aceros estructurales es la ASTM A-325, asimismo se tiene normas americanas reglamentadas DIN931/933, ANSI/ASME B18.5 y ANSI/ASME B18.2.1.

Para nuestro estudio hemos utilizado pernos hexagonales fabricados en acero de bajo contenido en carbono y sin tratamiento térmico. También conocidos como tornillos comunes y son regidos bajo la norma ASTM A307 grado A, pernos con resistencia de 60 KPSI.

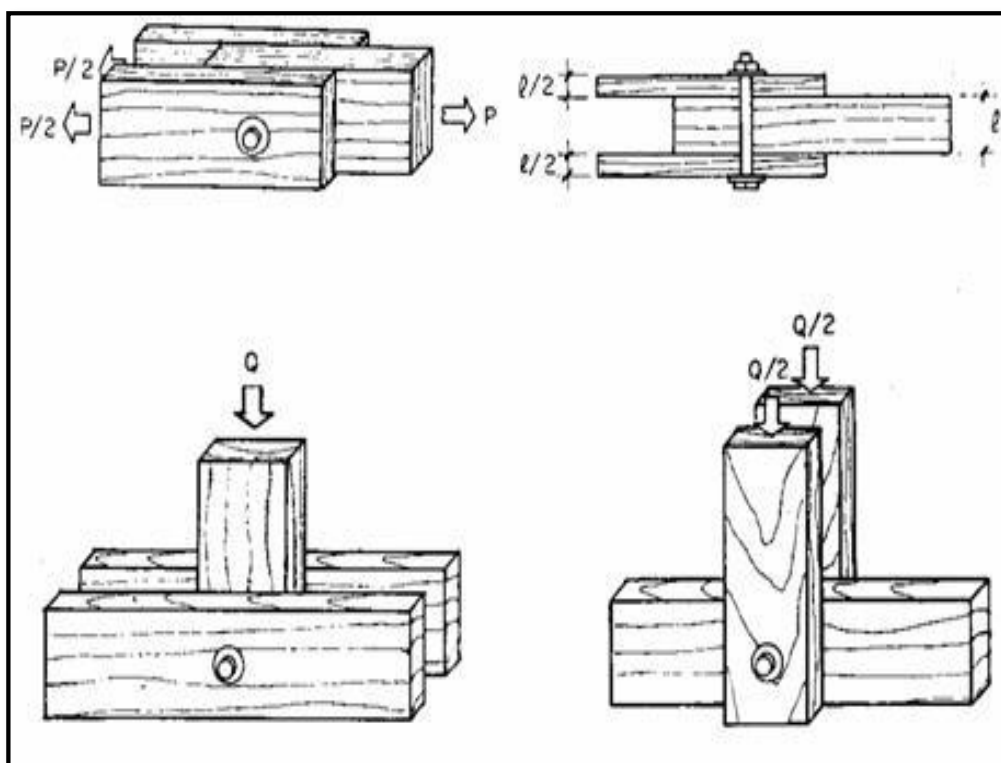


Figura N° 3.9. Perno hexagonal grado 2, zincado. Usado en nuestro sistema emperrado, de 1/4" de diametro y 2.5", 4" de largo. Norma ASTM A 307, grado A.

CAPITULO IV: UNIONES ESTRUCTURALES EN ELEMENTOS DE MADERA

Existe una variedad de sistemas de uniones estructurales en elementos de madera. Estas uniones son la parte más compleja y crítica, por lo tanto requieren un acertado diseño y una correcta elaboración. Las uniones tienen como objetivo de dar continuidad a los esfuerzos que se generan en la estructura sin dejar mucho impacto en éstas.

En las edificaciones u obras de arte con madera, las uniones o juntas son elaboradas empleando generalmente clavos, tirafones, pernos, placas metálicas u otros (Echavarría, 2007).

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

En la figura N 4.1 se observan 04 imágenes. Las 02 imágenes superiores son uniones emperradas a doble cizallamiento con cargas paralelas al grano en todos los elementos, mientras que las 02 imágenes inferiores son uniones emperradas con cargas perpendiculares al grano en el elemento central.

Los elementos emperrados a doble cizallamiento con cargas paralelas al grano pueden usarse en tijerales, principalmente en las correas superiores que están

bajo solicitaciones a compresión y en las correas inferiores que están bajo solicitaciones a tracción

Los elementos empernados a doble cizallamiento con cargas perpendiculares al grano pueden usarse en la unión de las correas inferiores y los listones en un tijeral, además en uniones viga columna reforzado generalmente con una plancha de acero para generar restricciones al giro.

4.1 SOLICITACIONES EN LAS UNIONES

Las uniones clavadas y empernadas, son afectadas por varios tipos de cizallamiento. El cizallamiento es una interacción producida por fuerzas opuestas iguales que tienden a generar deslizamiento de una pieza sobre la otra. El cizallamiento puede ser simple, doble o múltiple cizallamiento.

4.1.1 Cizallamiento simple

El cizallamiento simple se produce por la unión de dos piezas de madera con uno o varios elementos de fijación que pasan a través de las piezas. La fijación pasa perpendicularmente por un solo plano de falla.

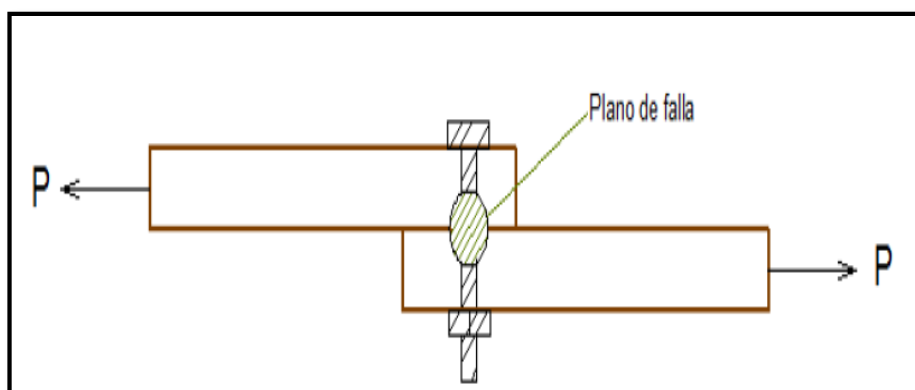


Figura Nº 4.2
Cizalla simple

4.1.2 Cizallamiento doble

El cizallamiento doble evalúa la capacidad admisible de las uniones. El cizallamiento doble genera dos planos de falla. Es recomendable que cuando se realice el diseño de uniones que involucren este fenómeno, el espesor del elemento central debe ser al menos el doble de los elementos adyacentes, esta recomendación se debe a que el elemento central soporta ambos planos de falla y las dos cargas generadas por los elementos adyacentes.

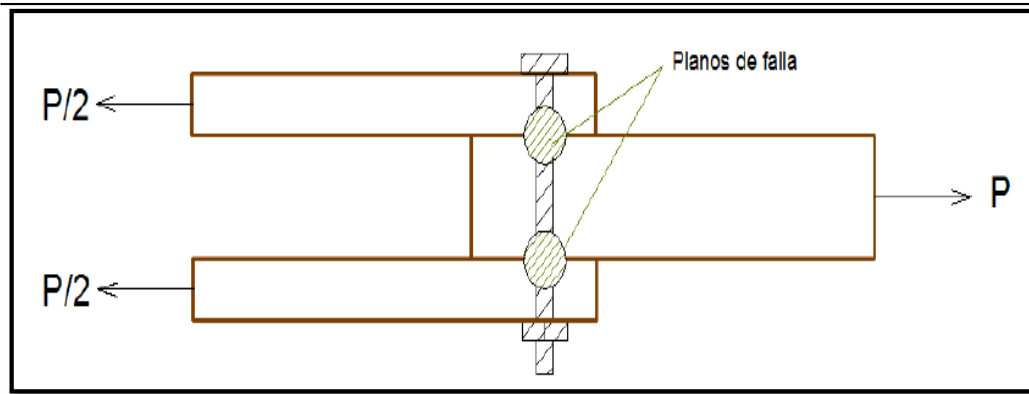


Figura N° 4.3
Cizalla doble

4.1.3 Cizallamiento múltiple

Se llama cizallamiento múltiple cuando se presentan dos o más planos de falla, uno de los efectos que se deben considerar en este tipo de cizallamiento es el pandeo del elemento de fijación, si es muy esbelto pueden provocar que la fijación se curve por fuerzas muy reducidas. Habitualmente se contempla que el esfuerzo admisible para este tipo de uniones es igual al producto de la cantidad de planos de cizalla y el esfuerzo admisible de uniones a cizalla simple.

4.2 TIPOS DE UNIONES ESTRUCTURALES PARA MADERA

El Perú tiene normativas sobre uniones estructurales en madera, una de estas normativas es el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Éste da recomendaciones y sugerencias que se pueden aplicar a los tipos de uniones existentes de dos o más elementos de madera. Las uniones son eficientes, específicamente con maderas de menor densidad que las del grupo C, es decir tipo de maderas que no pertenecen a ningún grupo. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2014).

4.2.1 Uniones Atornilladas

El tornillo es un elemento de fijación comúnmente usado para contrarrestar fuerzas de arranque, las cuales están orientadas en la dirección del vástago donde su desempeño es normalmente mayor al de los clavos o bien para traspasar cargas menores en uniones que solicitan los tornillos a extracción lateral. Los tornillos se diferencian básicamente por su cabeza, algunos tipos son de cabeza redonda, plana y oval, además se pueden diferenciar por su punta y tipo de hilo (Parker et al, 1972).

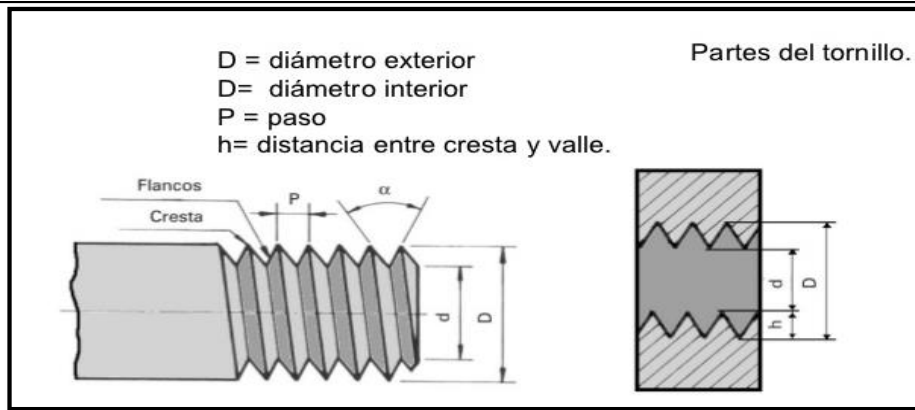


Figura N° 4.4 Uniones con tornillo.

Fuente: Parker et al, 1972

4.2.2 Uniones Clavadas

Los clavos son los más fáciles y simples elementos de fijación en términos de aplicación. Se caracterizan por su capacidad de transmitir los esfuerzos de un elemento a otro en una estructura. Su enorme propagación los convierte en económicos y prácticos. La característica con cierta desventaja de las uniones clavadas es ser un elemento metálico de delgada sección transversal, esta característica hace que el esfuerzo que el clavo sea capaz de transmitir esté limitado por la concentración de tensiones que introduce en la madera y que tiende a rajarla en el zona donde actúa (Centeno, 1983).

Los clavos deben ser alternados según la disposición mostrada en la Figura 4.5, siendo desplazados en un diámetro de clavo, con respecto al eje definido para el clavado.

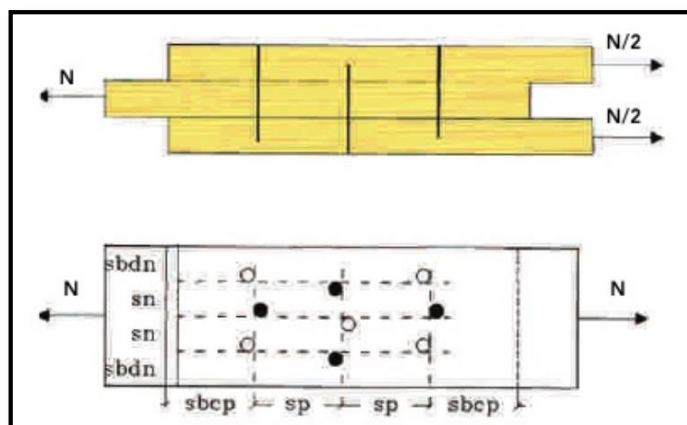


Figura N° 4.5 Uniones con clavos. (Disposición de clavado).

Fuente: Centeno, 1983.

4.2.3 Uniones empernadas

De acuerdo a las investigaciones realizadas en uniones empernadas por la Junta de Acuerdo de Cartagena, se puede inferir algunas conclusiones en ensayos realizados en elementos con uniones empernadas, entre las cuales tenemos:

- Verificar que los porcentajes de humedad de los elementos de la unión sean lo más uniformes posibles, en otras palabras, o todos húmedos por encima del 30% o todos secos por debajo del 20%.
- Es necesario ajustar los pernos con torquímetros, de tal manera que tenga la misma presión o ajuste.

Las uniones empernadas son generalmente eficientes con maderas, cuando se utilizan piezas metálicas para las uniones. Los agujeros se deben distribuir de manera que queden apropiadamente alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera. Se coloca una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera para evitar esfuerzos de aplastamiento muy altos. Se puede prescindir de las arandelas cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen sobre una placa de acero de manera directa (Echavarría, 2007).

Las disposiciones dadas anteriormente se aplican a uniones empernadas de dos o más elementos de madera, uniones de elementos de madera con platinas metálicas y para la fijación de madera a elementos de concreto por medio de platinas y anclas. Es conveniente utilizar uniones empernadas cuando las solicitudes sobre una conexión son grandes, en estos casos el uso de pernos va acompañado de platinas de acero. Se recomienda que las perforaciones para la colocación de los pernos se ejecuten con un diámetro mayor. Esto permite una fácil colocación y además evitar desgarrar las paredes de la perforación y producir astillamientos en los bordes.

CAPITULO V: ENSAYOS PRELIMINARES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.1 ENSAYOS PRELIMINARES.

En el presente trabajo de investigación, se usó la madera Cumala, que tiene una densidad de $0,38 \text{ gr/cm}^3$. Esta madera Cumala procede de la región de Ucayali. Encontrándola en la capital por la zona maderera del cono norte. av. Universitaria 4050. Distrito de los olivos.

Se propuso realizar 03 ensayos preliminares de Cizallamiento Doble (compresión de la madera Cumala)

- Probeta de 10x30cm con un espesor pieza central 2 cm y dos piezas laterales de 1 cm con 1 perno de $\frac{1}{4}$ "
- Probeta de 10x30cm con un espesor pieza central 2 cm y dos piezas laterales de 1 cm con 2 pernos de $\frac{1}{4}$ "
- Probeta de 10x30cm con un espesor pieza central 2 cm y dos piezas laterales de 1 cm con 3 pernos de $\frac{1}{4}$ "

Estos ensayos preliminares tuvieron como objetivo verificar que se realicen de manera correcta, como también realizar mejoras convenientes luego de analizar los resultados para los ensayos principales.



Fotografía N° 5.1- Búsqueda de la madera Cumala.



Fotografía N° 5.2- Selección de madera para las muestras.



Fotografía N° 5.3- Madera Cumala – *muestras preliminares*

5.1.1 Equipo y normativa de ensayo

La máquina de ensayos utilizado para estos trabajos preliminares fue el Zwick Roell, máquina de ensayo de materiales de fabricación Alemana. Para los ensayos, se tiene un equipo de carga máxima de 100 toneladas instalada en el

laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Además se pueden realizar ensayos estándar –tracción, compresión y flexión–, con las máquinas de ensayos de materiales de Zwick, también se pueden realizar ensayos multiaxiales, tales como ensayos de tracción biaxiales y ensayos de torsión.

Los datos solicitados de los ensayos se registran a través del software TestXpert y posteriormente importados al programa Excel para el respectivo análisis.



Fotografía N° 5.4- Máquina Zwick Roell de 100 toneladas

Se ha considerado 3 muestras a analizar, por lo tanto se obtendrán 3 gráficas, una para cada muestra. En cada gráfica se analizará la tendencia de cada variable en función a la variación de carga, para las tres situaciones distintas (se comparará las gráficas utilizando un solo perno, dos pernos y tres pernos).

En el Cuadro 5.1 se presenta la velocidad de ensayo aplicable para la relación L/D respectiva, esto según el 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:

Cuadro N° 5.1: Velocidad de ensayo. Fuente: ASTM D1761.

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

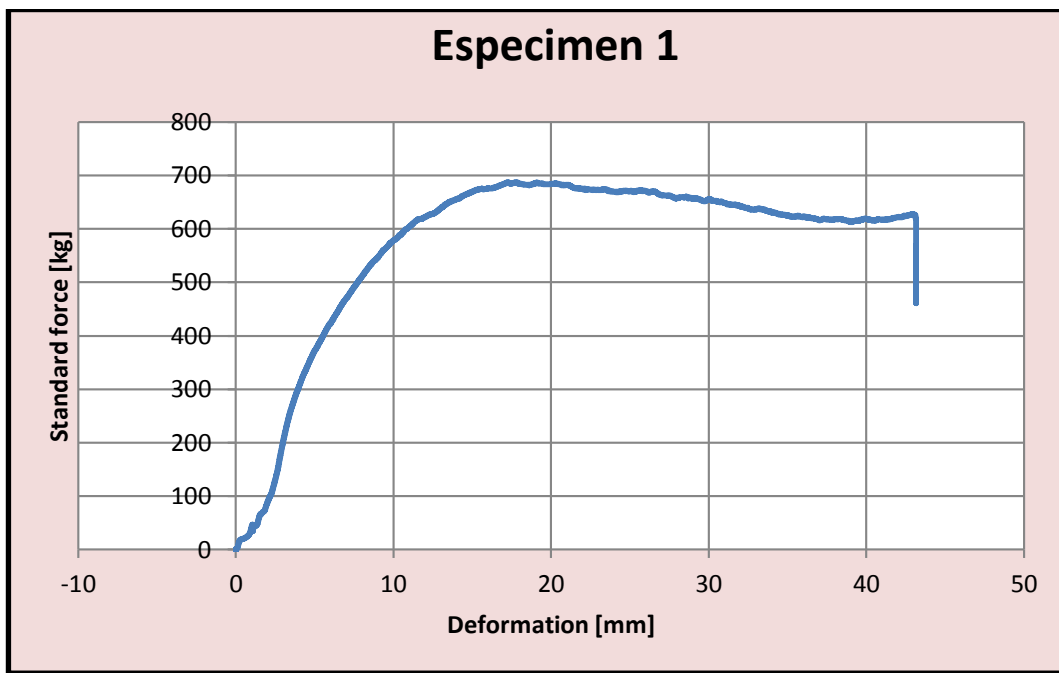
Para la ejecución del ensayo se instaló el software TestXpert y comandado a través de un ordenador, se procedió a realizar los ensayos las tres muestras mientras se observaron los resultados de manera instantánea.

Tabla N° 5.1 Dimensiones de las probetas preliminares para cada ensayo.

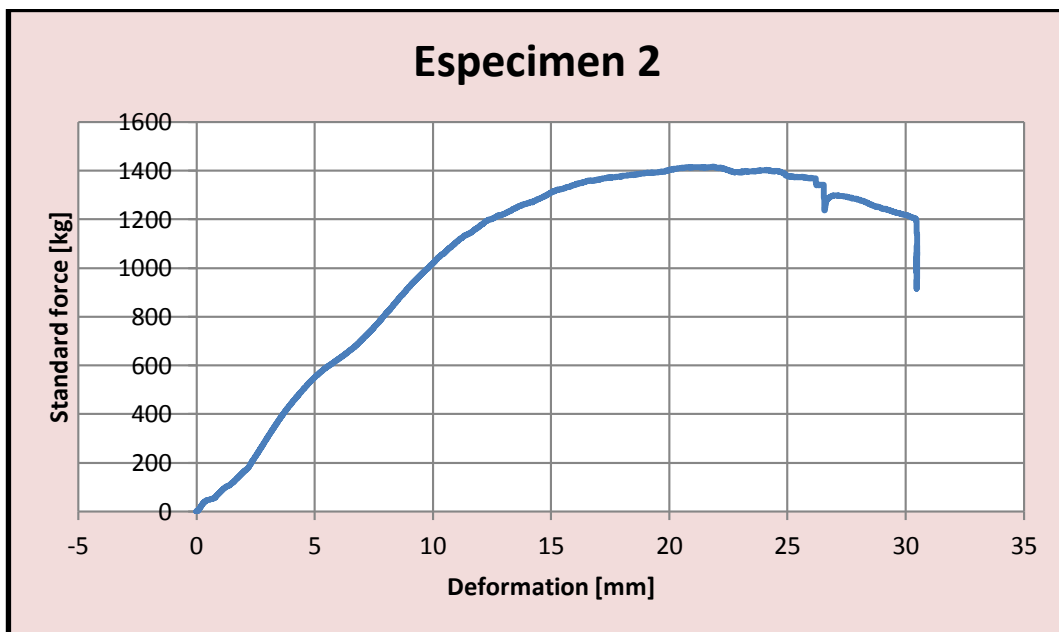
| | Longitud del Perno (pulg) | Diámetro del Perno (pulg) | Espesor pieza principal (cm) | Espesor pieza lateral o secundaria (cm) | L/D |
|----------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---|------|
| Ensayo 1 | 2 1/2 | 1/4 | 2.00 | 1.00 | 3.14 |
| Ensayo 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 concluir con los ensayos preliminares, se importaron la graficas carga vs deformación desde el software TestXpert hacia el programa Excel y se tuvieron los resultados que son presentados en las siguientes graficas:

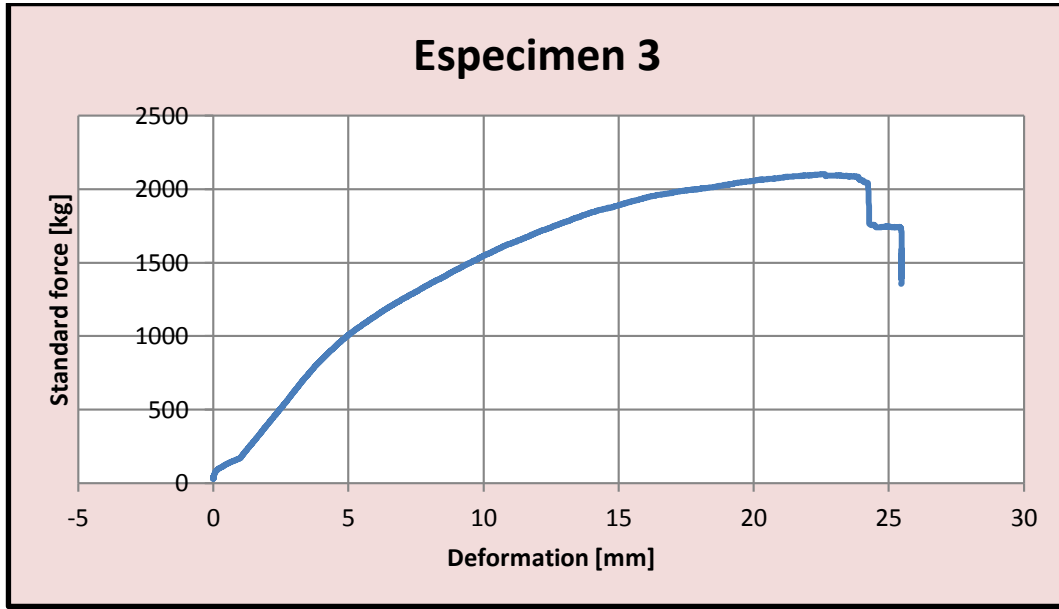
Para un perno**Grafica Nº 5.1- Carga-Deformación de la muestra de un perno**

Se observa que la máxima carga es de 687.35 kg donde se produjo una deformación de la muestra de 17.24 mm.

Para dos pernos**Grafica Nº 5.2- Carga -Deformación de la muestra de dos pernos**

Para la segunda muestra se tiene una carga máxima de 1416.56 kg donde se produjo una deformación de la muestra de 21.86 mm.

Para tres pernos



Grafica Nº 5.3- Carga-Deformación de la muestra de tres pernos

Para la tercera muestra se tiene una carga máxima de 2103.96 kg donde se produjo una deformación de la muestra de 22.54 mm.

5.1.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRELIMINARES.

- Apreciamos en el primer ensayo de la madera con un solo perno, que la deformación de la madera es más extendida que las otras dos muestras.
- Se puede notar que las muestras a partir de dos pernos la carga aumenta considerablemente debido a que es el perno el que principalmente soporta la carga, además el extremo donde se colocaron arandelas metálicas se 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 para lograr una mayor capacidad de resistencia.
- Asimismo, se observó que las muestras de la madera se encontraban parcialmente saturadas, por lo tanto, el contenido de humedad está fuera de lo recomendable por las normas de ensayo de maderas.

- Es necesario dejar secar la madera recién cortada por espacio de tres a cuatro días, tiempo observado durante el cual se disipa la mayor cantidad de humedad superficial, y así tener una mejor trabajabilidad en los ensayos y cumplir las normas correspondientes.
- Antes de ensayar, asegurar que el armado de probetas se haya realizado de manera correcta, tanto en los cortes como en las perforaciones de la madera, además de un correcto empernado, pues pueden variar el comportamiento de las gráficas y generar error en el análisis estudiado.



Fotografía N° 5.5- Madera Cumala ensayada con tres pernos.



Fotografía N° 5.6- Deformación final de perno en muestra ensayada.

5.2 ENSAYOS REALIZADOS

En este trabajo de investigación, realizado con madera Cumala, se tomaron en cuenta recomendaciones del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino y la norma ASTM D 3410, normado desde la década de los 80, en lo que concierne al cortado en probetas y ser ensayadas como se especifica en el desarrollo de este capítulo.

Para la elaboración de las probetas de ensayo se trabajó bajo el criterio de 2 variables que afectan la resistencia de los pernos, definidos anteriormente.

Las variables son: Cantidad de pernos y la relación L/D, Longitud del espesor de la madera sobre el Diámetro del perno.

Se elaboraron muestras con espesores de 2 y 4 cm, y con el número de pernos en uno, dos y tres pernos para cada espesor de muestra, a razón de 15 probetas por cada una de las 06 variaciones resultantes, totalizando 90 ensayos.

El alto y el ancho de cada pieza de madera son constantes (10x30cm), solo varia los espesores, con dos medidas, 45 piezas de 2cm y 45 restantes de 4cm.

La relación de cada espécimen L/D existe una medida de pieza lateral y pieza principal, como se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla Nº 5.2 Dimensiones de las probetas para ensayos posteriores.

| 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 | 1/4 | 2 1/2 | 2.0 | 1.0 | 3.14 | 13.477 |
| 15 | 1/4 | 2 1/2 | 2.0 | 1.0 | 3.14 | 13.477 |
| 15 | 1/4 | 2 1/2 | 2.0 | 1.0 | 3.14 | 13.477 |
| 15 | 1/4 | 4 | 4.0 | 2.0 | 6.29 | 19.236 |
| 15 | 1/4 | 4 | 4.0 | 2.0 | 6.29 | 19.236 |
| 15 | 1/4 | 4 | 4.0 | 2.0 | 6.29 | 19.236 |

5.2.1 ARMADO DE PROBETAS

Para el armado de probeta se tuvo en cuenta 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 armaduras, donde 30 fueron fijadas con un perno, 30 probetas con dos pernos y las 30 restantes con tres pernos, todas elaboradas con pernos de 1/4" para los espesores 2 y 4cm.

Las probetas fueron llevadas al laboratorio de ensayo de materiales LEM de la UNI, las cuales se sometieron a ensayo en 06 bloques de 15 probetas cada una, de acuerdo al espesor de la muestra y el número de pernos.



Fotografía N° 5.7- Selección de la madera Cumala.



Fotografía N° 5.8- Piezas cortadas según requerimientos.



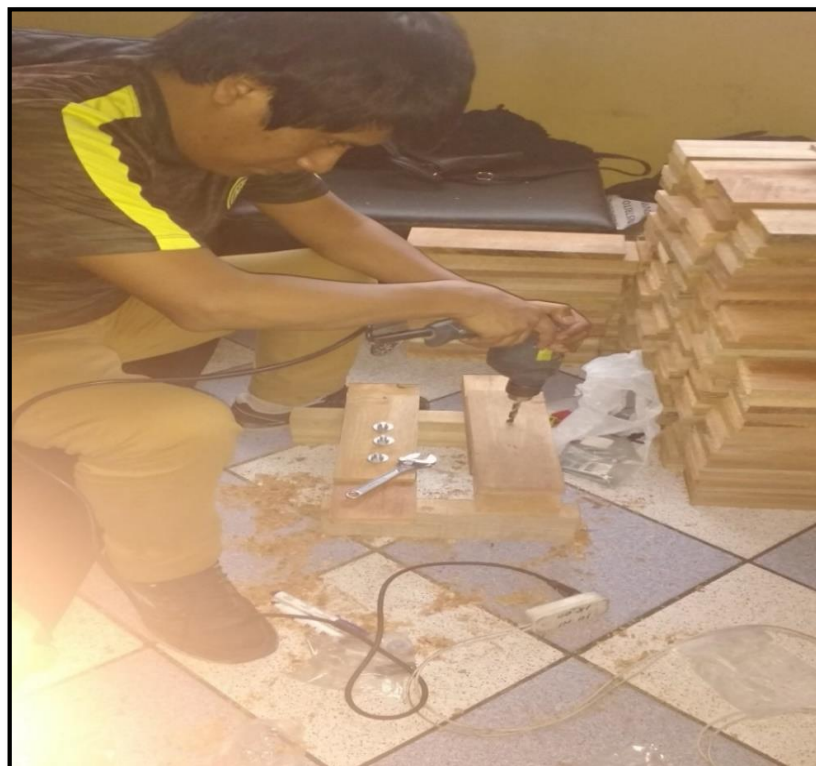
Fotografía N° 5.9- Empaquetado final de las piezas de madera.



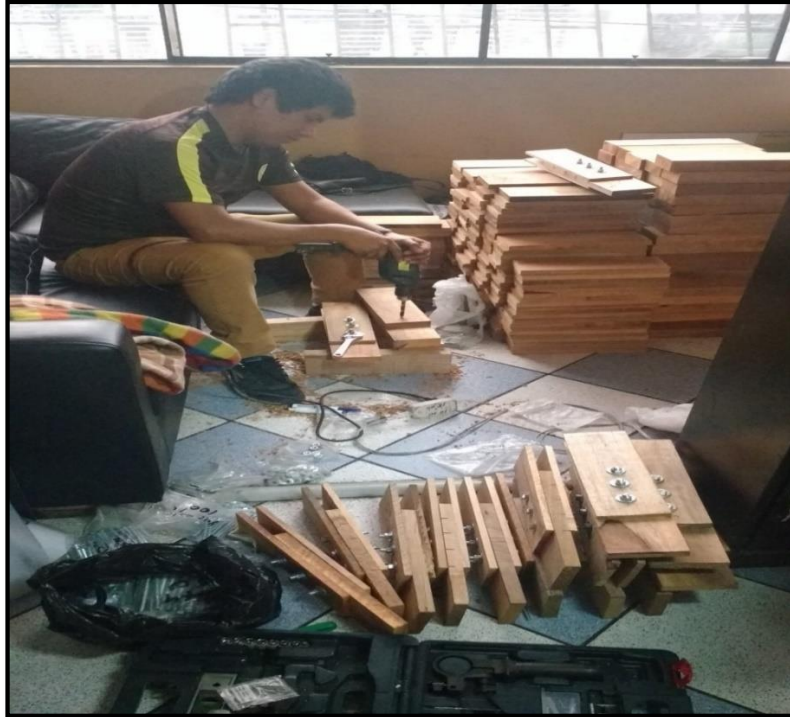
Fotografía N° 5.10- Traslado de las piezas.



Fotografía N° 5.11- Habilitado de las piezas según dimensiones.



Fotografía N° 5.12- Probetas en proceso de armado.



Fotografía N° 5.13- Probetas armadas finales.



Fotografía N° 5.14- Probetas diferenciadas por números de pernos.



Fotografía N° 5.15- Codificación de probetas (90 probetas).

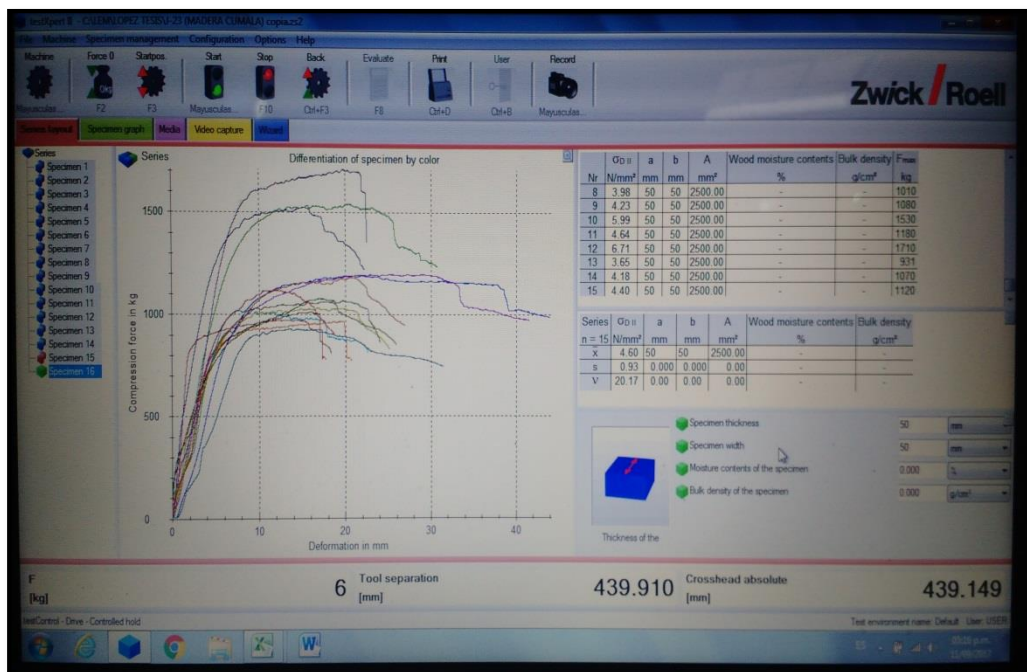


Fotografía N° 5.16- Ensayo de probetas en el LEM.



Fotografía N° 5.17- Probeta siendo solicitada a compresión.

5.2.2 ANALISIS Y GRAFICAS DE LOS ENSAYOS



Fotografía N° 5.18- Uso del programa TestXpert.



Fotografía N° 5.19- Gráficas obtenidas de Carga vs deformación.

5.3 CALCULOS DE HUMEDAD Y DENSIDAD

Para realizar los cálculos de humedad de las probetas se procedió a cortar muestras de madera de cada una de las 90 probetas señaladas con códigos de acuerdo a espesor de pieza de madera y numero de pernos.



Fotografía N° 5.20- Corte de muestras para ensayo de humedad.



Fotografía N° 5.21- Muestras secadas al horno



Fotografía N° 5.22- Pesado de las muestras en estado seco.

Teniendo 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 fin de tener las muestras anhidras, las cuales, al volver a pesarlas, se obtuvieron los contenidos de humedad de cada muestra, mostrados en los cuadros siguientes:

Cuadro N° 5.2 Probetas de L=2cm y un perno de 1/4".

| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J21-01 | 50.8 | 41.65 | 21.97 |
| J21-02 | 66 | 56.46 | 16.89 |
| J21-03 | 28.8 | 24.00 | 20 |
| J21-04 | 67.3 | 56.13 | 19.89 |
| J21-05 | 63.6 | 53.44 | 19.01 |
| J21-06 | 72.8 | 60.13 | 21.08 |
| J21-07 | 61.3 | 53.94 | 13.64 |
| J21-08 | 53.3 | 45.60 | 16.89 |
| J21-09 | 64.7 | 55.34 | 16.92 |
| J21-10 | 54.5 | 45.73 | 19.17 |
| J21-11 | 58.9 | 52.97 | 11.19 |
| J21-12 | 51.1 | 44.09 | 15.9 |
| J21-13 | 52.4 | 44.16 | 18.65 |
| J21-14 | 53.1 | 42.71 | 24.32 |
| J21-15 | 66.8 | 55.93 | 19.43 |

Cuadro Nº 5.3 Probetas de L=2cm y dos pernos de 1/4".

| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J22-01 | 25.6 | 22.75 | 12.54 |
| J22-02 | 51.6 | 41.42 | 24.58 |
| J22-03 | 49 | 42.02 | 16.62 |
| J22-04 | 31.4 | 27.38 | 14.68 |
| J22-05 | 54.9 | 47.17 | 16.39 |
| J22-06 | 58.9 | 50.61 | 16.37 |
| J22-07 | 51.6 | 45.65 | 13.03 |
| J22-08 | 51.4 | 43.90 | 17.09 |
| J22-09 | 56.6 | 49.15 | 15.17 |
| J22-10 | 55.6 | 45.64 | 21.83 |
| J22-11 | 58.8 | 46.84 | 25.53 |
| J22-12 | 67.2 | 56.58 | 18.76 |
| J22-13 | 57.7 | 50.70 | 13.81 |
| J22-14 | 49.9 | 39.48 | 26.38 |
| J22-15 | 64.7 | 56.14 | 15.24 |

Cuadro Nº 5.4 Probetas de L=2cm y tres pernos de 1/4".

| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J23-01 | 46 | 38.36 | 19.91 |
| J23-02 | 56.6 | 50.87 | 11.27 |
| J23-03 | 46.4 | 40.35 | 15.00 |
| J23-04 | 50.8 | 39.54 | 28.47 |
| J23-05 | 38.6 | 34.02 | 13.45 |
| J23-06 | 45.9 | 39.86 | 15.14 |
| J23-07 | 44.6 | 40.82 | 9.26 |
| J23-08 | 50.3 | 41.41 | 21.46 |
| J23-09 | 26.3 | 22.06 | 19.22 |
| J23-10 | 56.6 | 52.21 | 8.41 |
| J23-11 | 53.9 | 46.67 | 15.49 |
| J23-12 | 36.5 | 33.47 | 9.05 |
| J23-13 | 46.7 | 39.43 | 18.45 |
| J23-14 | 46.8 | 39.46 | 18.60 |
| J23-15 | 41.8 | 35.74 | 16.94 |

Cuadro N° 5.5 Probetas de L=4cm y un perno de 1/4".

| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J41-01 | 106.5 | 97.59 | 9.13 |
| J41-02 | 124.6 | 104.02 | 19.78 |
| J41-03 | 102.1 | 84.66 | 20.60 |
| J41-04 | 144.1 | 120.16 | 19.92 |
| J41-05 | 130.2 | 113.64 | 14.57 |
| J41-06 | 176.4 | 131.70 | 33.94 |
| J41-07 | 106.9 | 90.14 | 18.59 |
| J41-08 | 141.6 | 114.50 | 23.67 |
| J41-09 | 122.9 | 105.71 | 16.26 |
| J41-10 | 109.8 | 100.57 | 9.18 |
| J41-11 | 181.8 | 149.19 | 21.86 |
| J41-12 | 154.5 | 125.53 | 23.07 |
| J41-13 | 121.7 | 94.01 | 29.46 |
| J41-14 | 121.9 | 99.90 | 22.03 |
| J41-15 | 160.7 | 130.41 | 23.23 |

Cuadro N° 5.6 Probetas de L=4cm y dos pernos de 1/4".

| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J42-01 | 107.5 | 88.51 | 21.46 |
| J42-02 | 108.9 | 94.38 | 15.39 |
| J42-03 | 125.4 | 105.39 | 18.98 |
| J42-04 | 108.5 | 94.12 | 15.28 |
| J42-05 | 90.2 | 75.06 | 20.17 |
| J42-06 | 80.3 | 64.64 | 24.23 |
| J42-07 | 114.5 | 95.08 | 20.42 |
| J42-08 | 120.6 | 98.45 | 22.50 |
| J42-09 | 134.7 | 112.61 | 19.61 |
| J42-10 | 110.9 | 94.03 | 17.94 |
| J42-11 | 108.2 | 89.91 | 20.34 |
| J42-12 | 68.3 | 59.79 | 14.24 |
| J42-13 | 115.3 | 83.89 | 37.45 |
| J42-14 | 109.9 | 83.64 | 31.39 |
| J42-15 | 106.9 | 82.96 | 28.85 |

Cuadro N° 5.7 Probetas de L=4cm y tres pernos de 1/4".

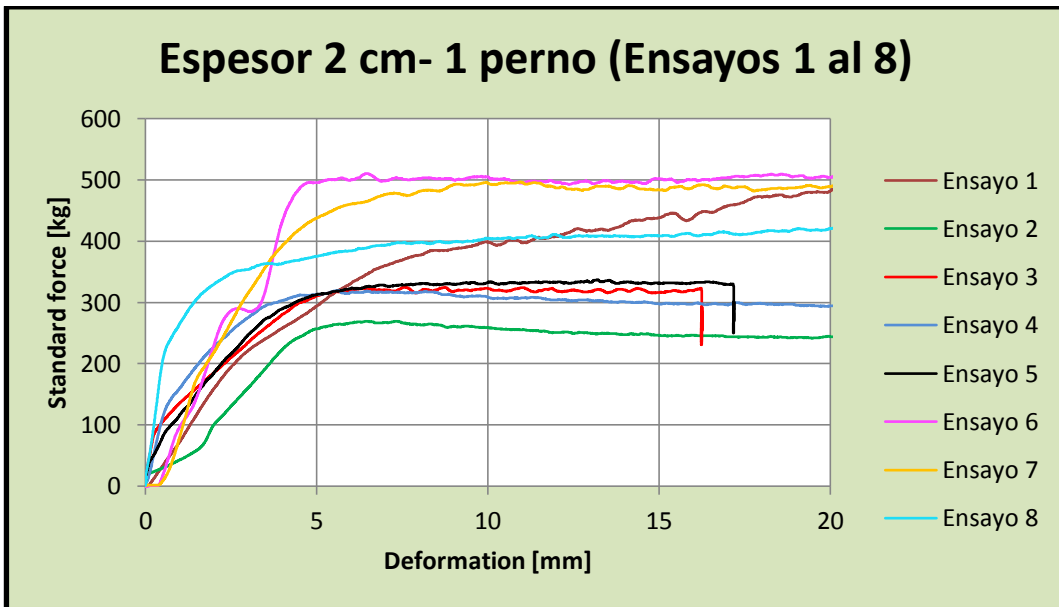
| Muestra | Peso húmedo | Peso Seco | Humedad |
|---------|-------------|-----------|---------|
| Código | (gr) | (gr) | (%) |
| J43-01 | 127 | 104.83 | 21.14 |
| J43-02 | 126.6 | 105.31 | 20.22 |
| J43-03 | 110.2 | 78.64 | 40.14 |
| J43-04 | 99.2 | 75.68 | 31.08 |
| J43-05 | 91.1 | 73.55 | 23.85 |
| J43-06 | 40.5 | 36.89 | 9.80 |
| J43-07 | 118.7 | 93.88 | 26.44 |
| J43-08 | 94.9 | 76.48 | 24.08 |
| J43-09 | 89.9 | 77.37 | 16.20 |
| J43-10 | 88.2 | 73.78 | 19.54 |
| J43-11 | 122.5 | 95.65 | 28.07 |
| J43-12 | 115.3 | 92.05 | 25.26 |
| J43-13 | 97 | 86.15 | 12.59 |
| J43-14 | 114 | 91.82 | 24.16 |
| J43-15 | 87 | 77.60 | 12.12 |

CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSION

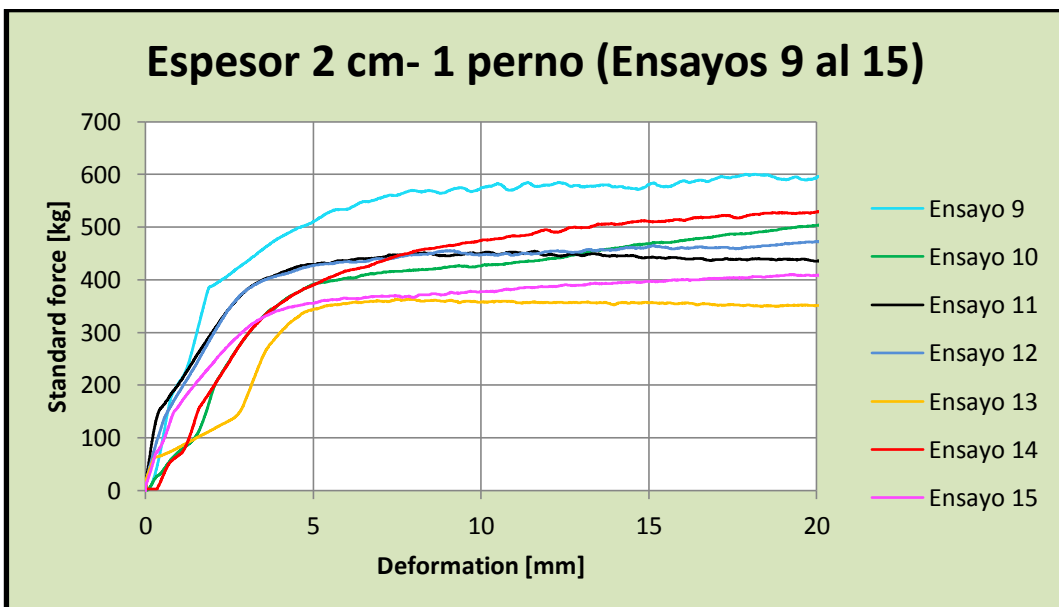
6.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA AL DOBLE CIZALLAMIENTO

Se presentan los gráficos que corresponden a los ensayos en dos bloques (del 1 al 8) y (del 9 al 15), para poder visualizarlos claramente:

Esesor central de 2cm y 1 perno:



Gráfica 6.1- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)

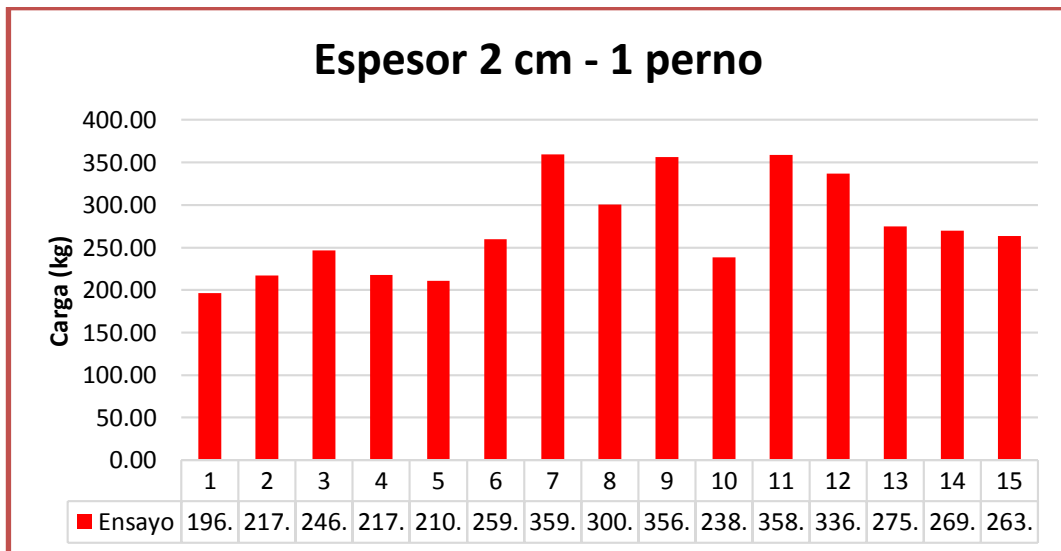


Gráfica 6.2- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

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

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 196.18 |
| 2 | 217.01 |
| 3 | 246.53 |
| 4 | 217.99 |
| 5 | 210.90 |
| 6 | 259.63 |
| 7 | 359.40 |
| 8 | 300.66 |
| 9 | 356.24 |
| 10 | 238.29 |
| 11 | 358.60 |
| 12 | 336.75 |
| 13 | 275.09 |
| 14 | 269.67 |
| 15 | 263.39 |



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

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, 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 196.18

Carga básica=196.18 Kg

-

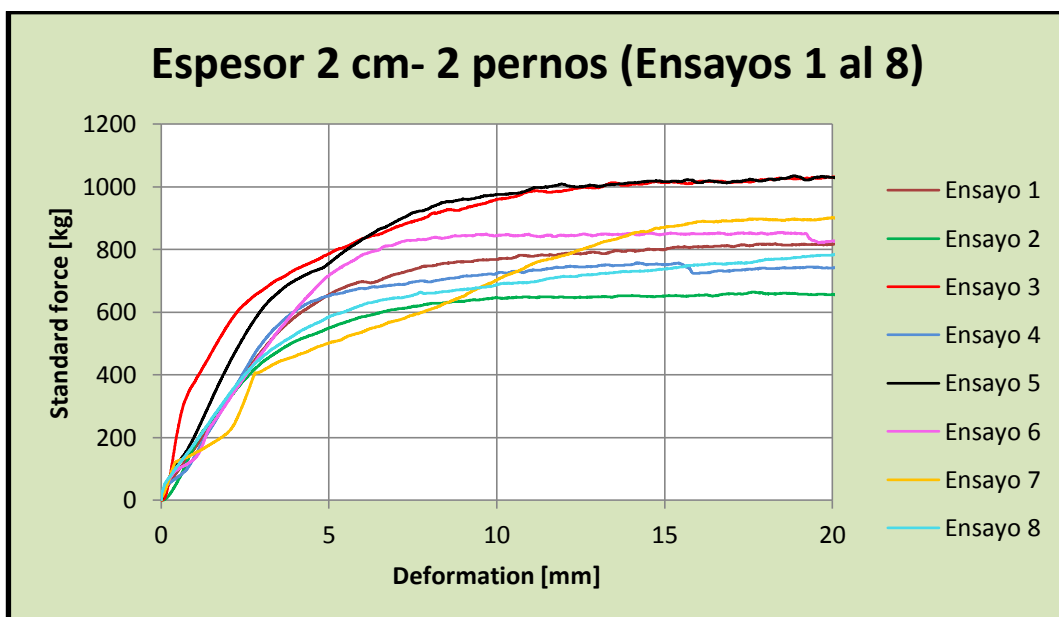
Para hallar la carga admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3 como se menciona en el 8.9 de la norma de Bambú la E100 que hace referencia a la normativa ISO 22156 Structural Design y a la ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties. En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

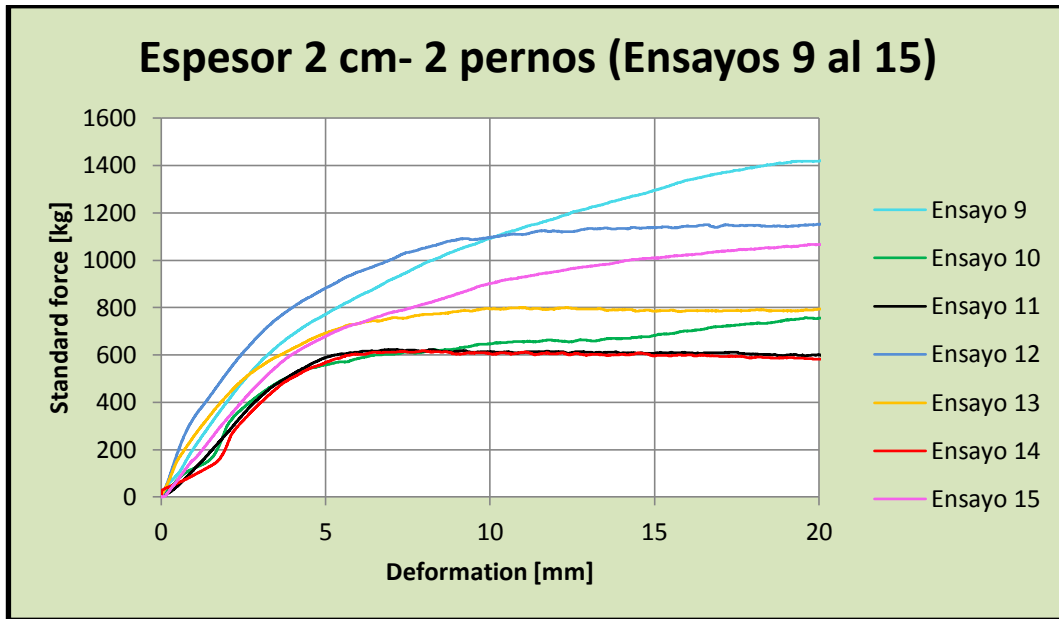
La carga admisible será:

Carga admisible=65.39 Kg

Espesor central de 2 cm y 2 pernos:



Gráfica 6.4- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)

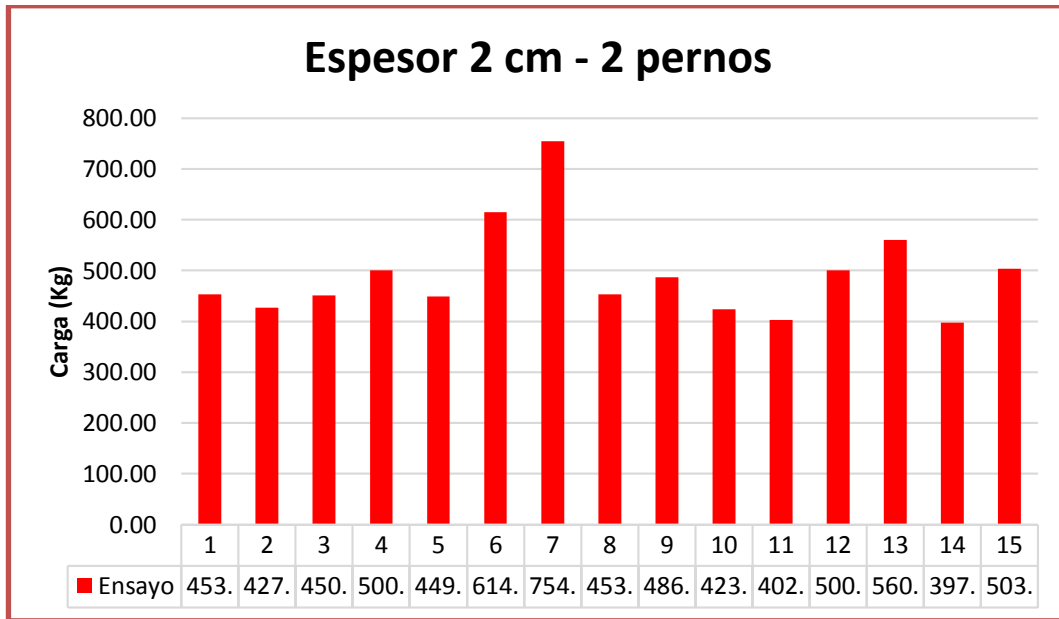


Gráfica 6.5- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

Tabla N° 6.2 Cargas para las probetas con espesor de 2cm y 2 pernos.

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 453.07 |
| 2 | 427.33 |
| 3 | 450.74 |
| 4 | 500.32 |
| 5 | 449.49 |
| 6 | 614.37 |
| 7 | 754.91 |
| 8 | 453.14 |
| 9 | 486.62 |
| 10 | 423.57 |
| 11 | 402.71 |
| 12 | 500.77 |
| 13 | 560.10 |
| 14 | 397.92 |
| 15 | 503.32 |



Grafica N° 6.6- Cuadro de resumen de los ensayos a los especímenes con espesor 2 cm y 2 pernos.

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, 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 397.92.

Carga básica=397.92 Kg

Para hallar la carga admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3.

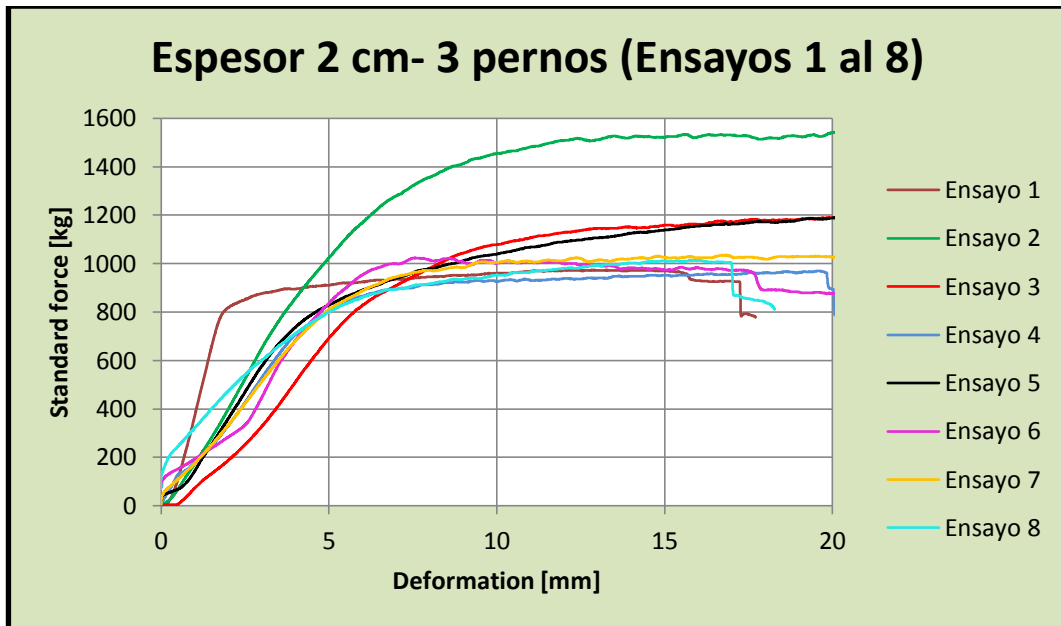
En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

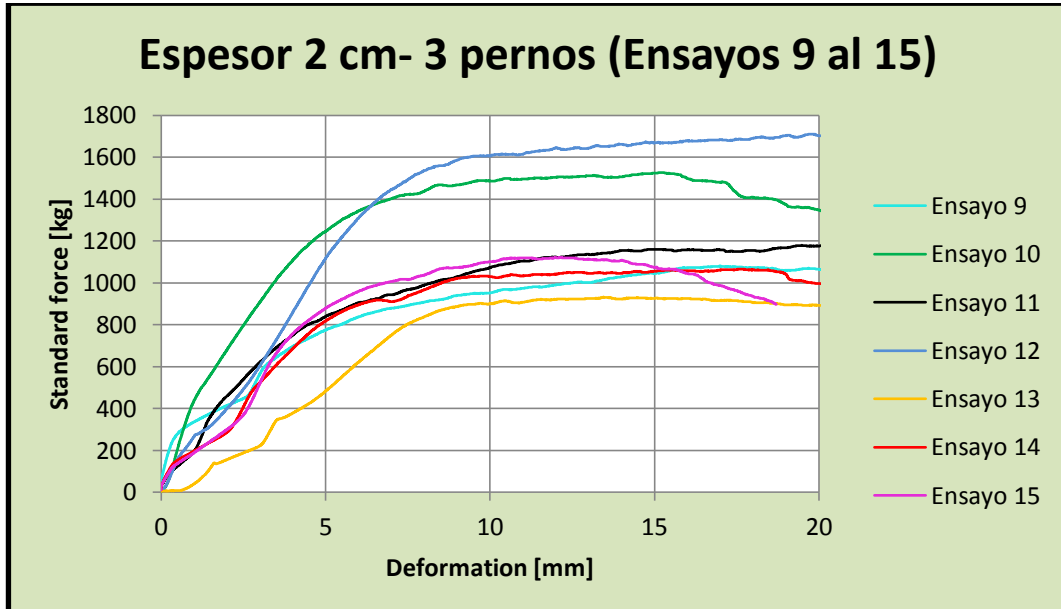
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible=132.64 Kg

Espesor central de 2 cm y 3 pernos:



Gráfica 6.7- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)

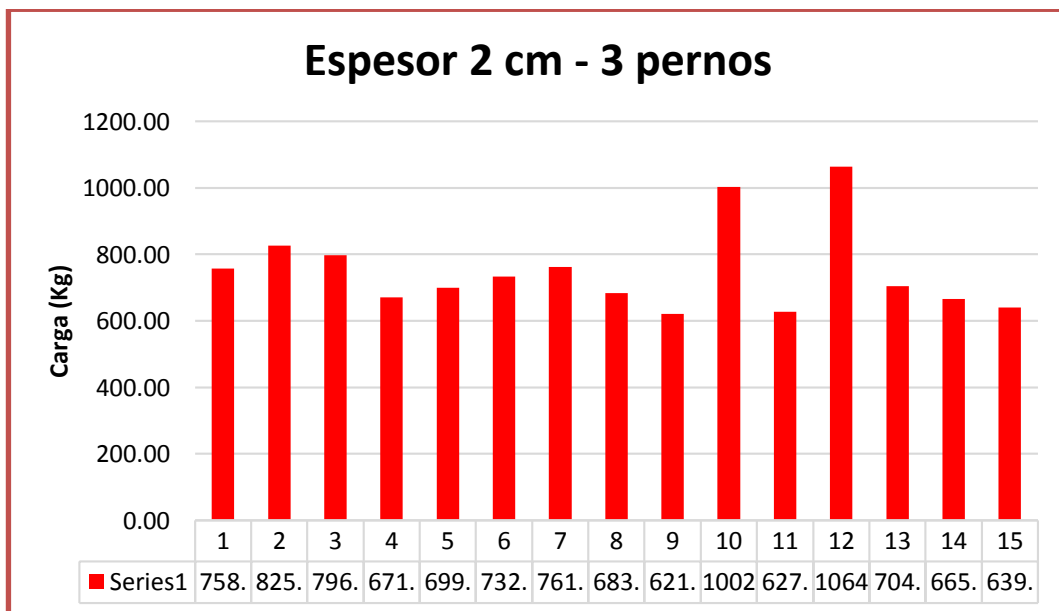


Gráfica 6.8- Carga -Deformación de para las probetas con espesor de 2cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

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

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 758.08 |
| 2 | 825.63 |
| 3 | 796.67 |
| 4 | 671.03 |
| 5 | 699.03 |
| 6 | 732.56 |
| 7 | 761.31 |
| 8 | 683.21 |
| 9 | 621.09 |
| 10 | 1002.70 |
| 11 | 627.86 |
| 12 | 1064.50 |
| 13 | 704.14 |
| 14 | 665.35 |
| 15 | 639.67 |



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

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, 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 621.09.

Carga básica=621.09 Kg

Para hallar la carga admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3.

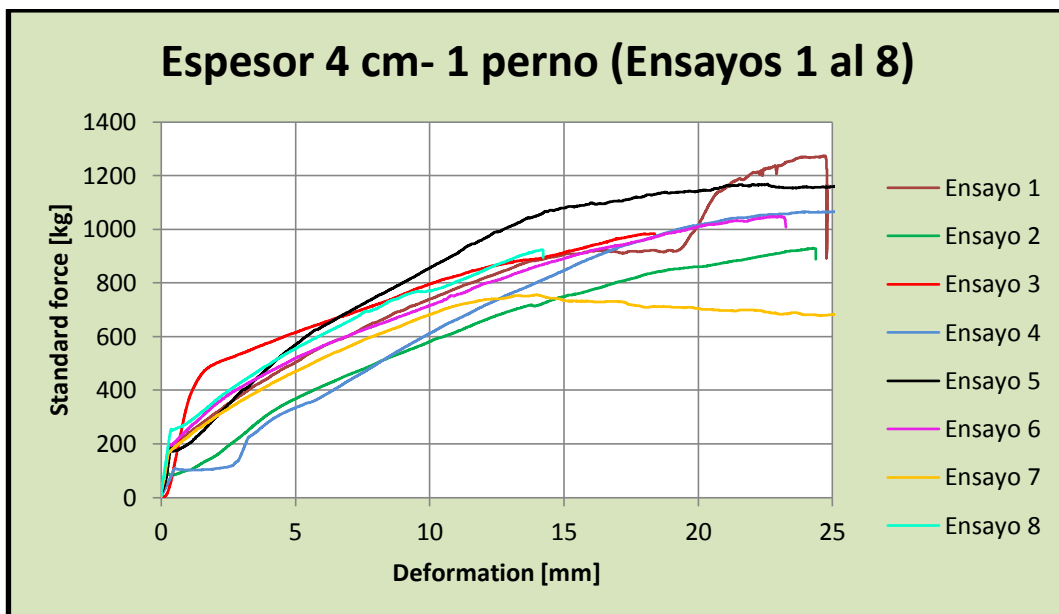
En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

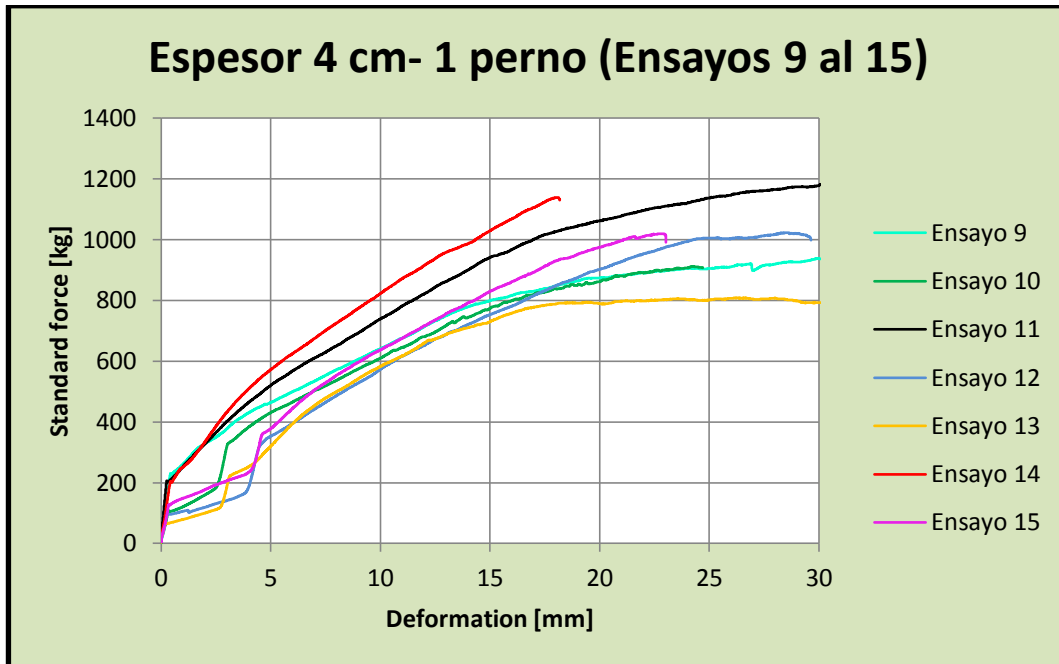
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible=207.03 Kg

Espesor central de 4 cm y 1 perno:



Gráfica 6.10- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4 cm y 1 perno (Ensayo 1 al 8)

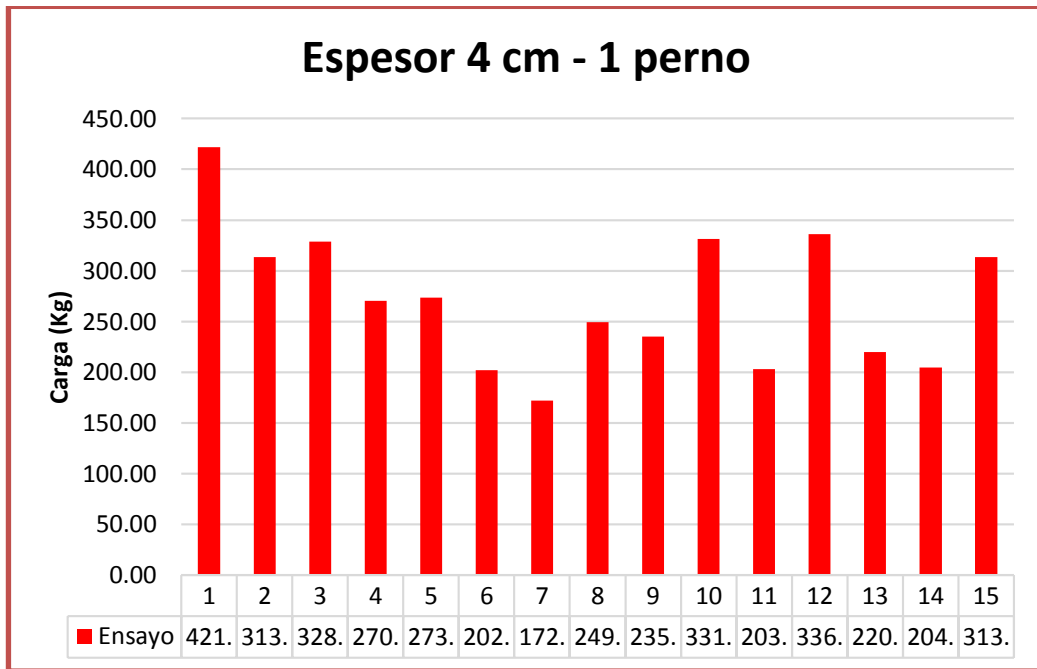


Gráfica 6.11- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4 cm y 1 perno (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

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

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 421.96 |
| 2 | 313.48 |
| 3 | 328.78 |
| 4 | 270.58 |
| 5 | 273.26 |
| 6 | 202.20 |
| 7 | 172.26 |
| 8 | 249.52 |
| 9 | 235.27 |
| 10 | 331.33 |
| 11 | 203.04 |
| 12 | 336.12 |
| 13 | 220.12 |
| 14 | 204.58 |
| 15 | 313.55 |



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

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$

Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor que es 172.26.

Carga básica=172.26 Kg

Para hallar la carga admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3.

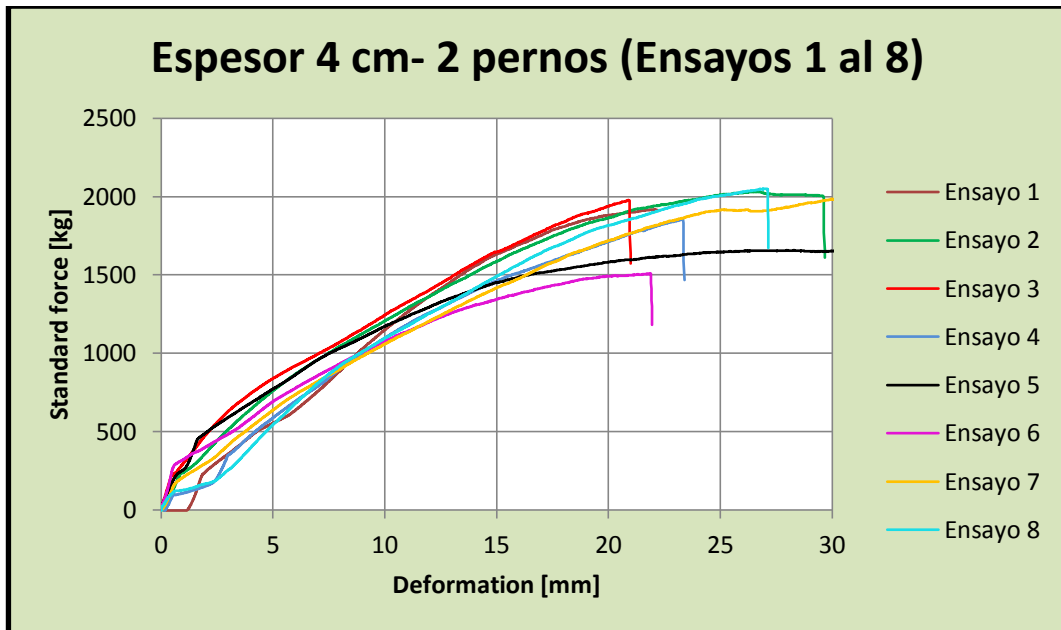
En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

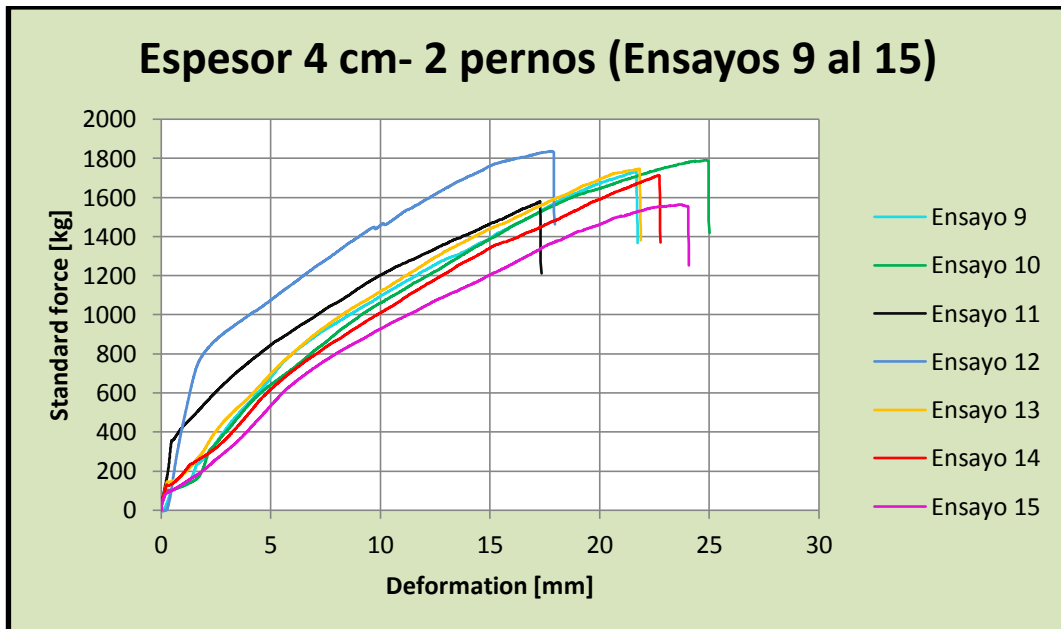
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible=57.42 Kg

Espesor central de 4 cm y 2 pernos:



Gráfica 6.13- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4 cm y 2 pernos (Ensayo 1 al 8)

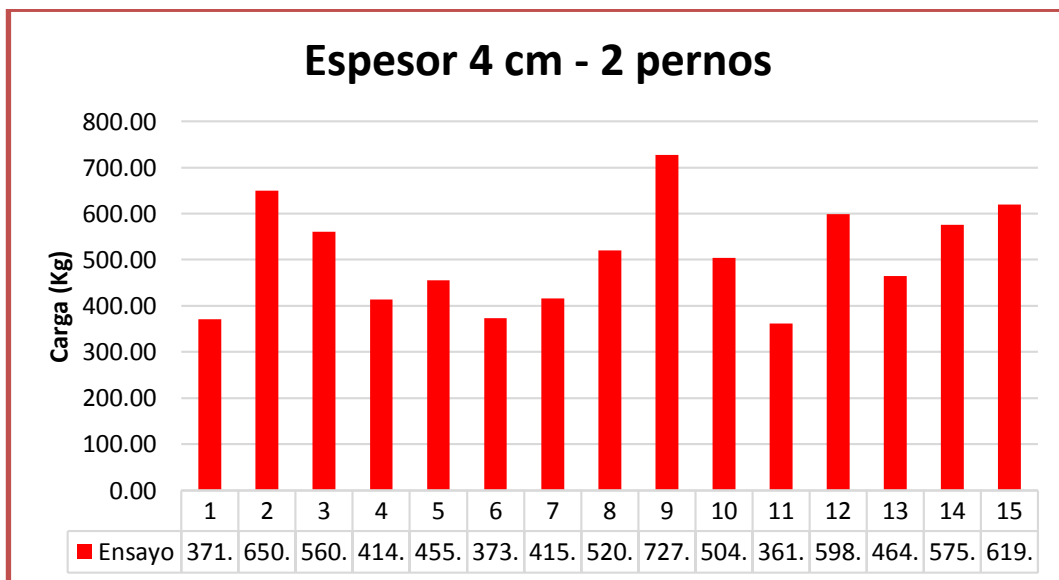


Gráfica 6.14- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4 cm y 2 pernos (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

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

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 371.34 |
| 2 | 650.22 |
| 3 | 560.71 |
| 4 | 414.27 |
| 5 | 455.94 |
| 6 | 373.11 |
| 7 | 415.99 |
| 8 | 520.40 |
| 9 | 727.42 |
| 10 | 504.49 |
| 11 | 361.84 |
| 12 | 598.57 |
| 13 | 464.50 |
| 14 | 575.22 |
| 15 | 619.68 |



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

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, 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 361.84.

Carga básica=361.84 Kg

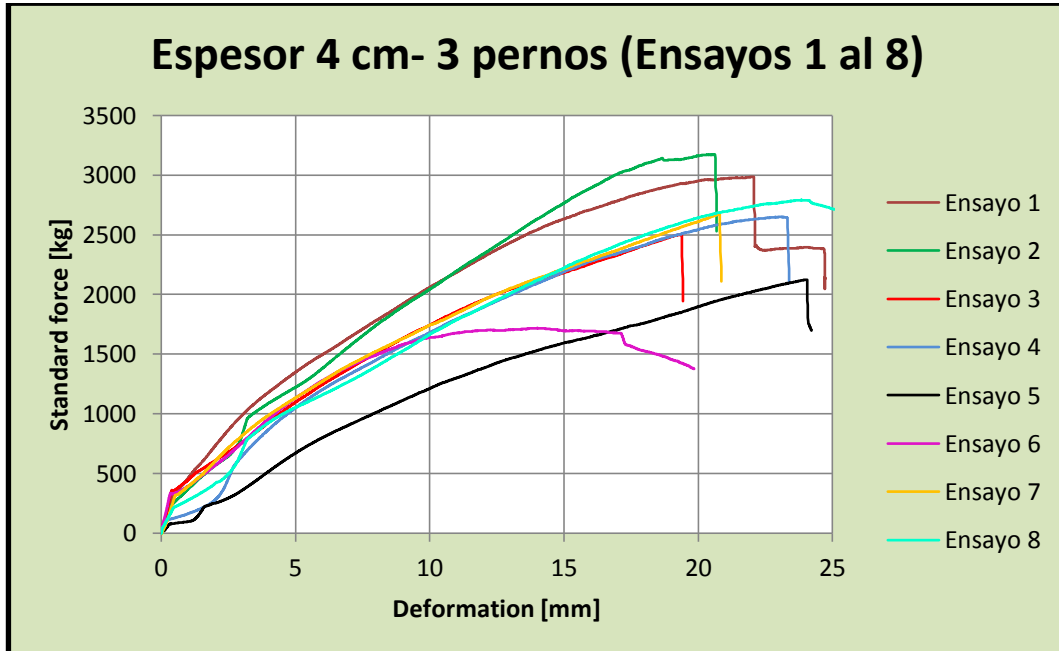
Para hallar el esfuerzo admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3. En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

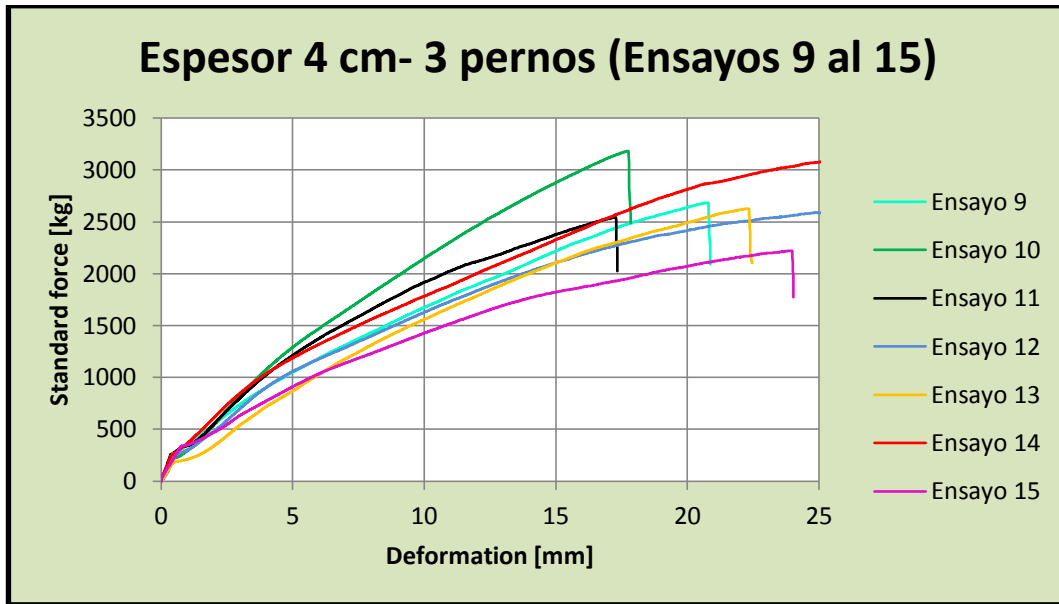
Por lo tanto la carga admisible será:

Carga admisible=120.61 Kg

Espesor central de 4 cm y 3 pernos:



Gráfica 6.16- Carga -Deformación de los especímenes con espesor de 4 cm y 3 pernos (Ensayo 1 al 8)

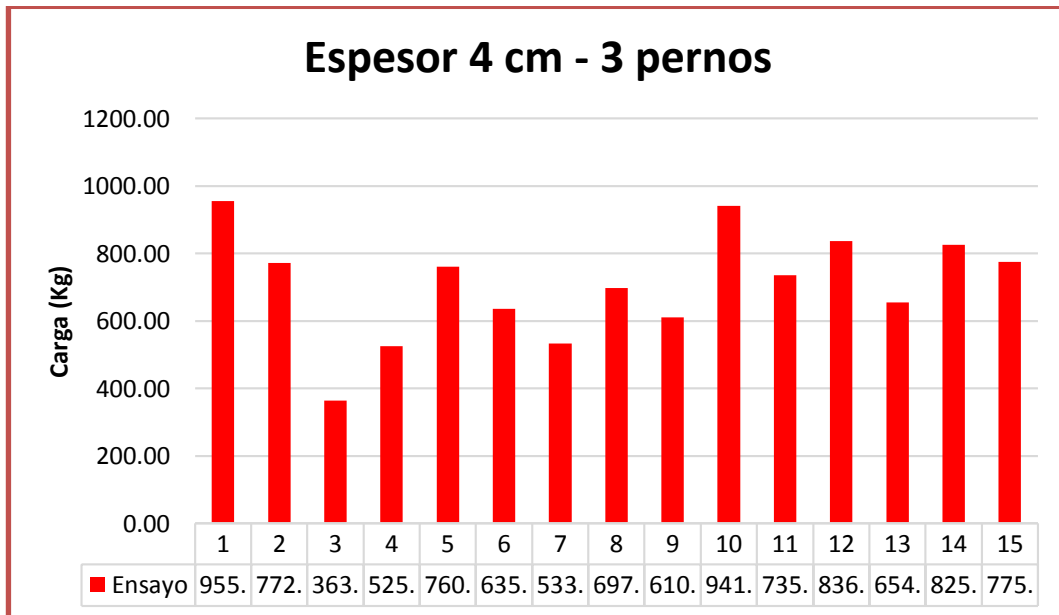


Gráfica 6.17- Carga-Deformación de para las probetas con espesor de 4 cm y 3 pernos (Ensayo 9 al 15)

A partir de la gráfica Carga vs. Deformación del Ensayo de Doble Cizallamiento, obtenemos valores de Carga al Límite Proporcional en la siguiente tabla:

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

| Ensayo | Carga (kg) |
|--------|------------|
| 1 | 955.85 |
| 2 | 772.14 |
| 3 | 363.79 |
| 4 | 525.08 |
| 5 | 760.94 |
| 6 | 635.63 |
| 7 | 533.57 |
| 8 | 697.48 |
| 9 | 610.42 |
| 10 | 941.41 |
| 11 | 735.77 |
| 12 | 836.39 |
| 13 | 654.79 |
| 14 | 825.51 |
| 15 | 775.80 |



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

De acuerdo a la norma E.010 se halla la carga básica, que corresponde al mínimo en el límite de 5% de exclusión. $15(0.05) = 0.75$

Por lo tanto, se escoge el 2do menor valor que es 363.79.

Carga básica=363.79 Kg

Para hallar la carga admisible consideramos un factor de seguridad igual a 3.

En consecuencia la ecuación resulta de la siguiente manera:

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

Por lo tanto La Carga admisible será:

Carga admisible=121.26 Kg

6.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA E.010

Se realizaron comparaciones entre los esfuerzos admisibles obtenidos de los ensayos con los que han establecido en la norma E.010. La Tabla 6.8 indica los esfuerzos admisibles para cada tipo 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) |

Dónde: P: compresión paralela.

Q: compresión perpendicular.

Cuando se tienen uniones con 2 o más pernos, se utiliza un factor de reducción de carga que depende del número de pernos por línea de la carga aplicada:

Tabla N° 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 DIRECCION 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 |

A partir de la Tabla 6.9 y los resultados de los ensayos, se concluye en los siguientes resultados que se muestran en las Tablas 6.10 y 6.11 respectivamente:

Tabla N° 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) | | | | |
|--|---------|---------|---------|--------|
| N° DE PERNOS | GRUPO A | GRUPO B | GRUPO C | CUMALA |
| 1 | 195.00 | 131.00 | 75.00 | 65.39 |
| 2 | 390.00 | 262.00 | 150.00 | 132.64 |
| 3 | 538.20 | 361.56 | 207.00 | 207.03 |

Tabla N° 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) | | | | |
|--|---------|---------|---------|--------|
| N° DE PERNOS | GRUPO A | GRUPO B | GRUPO C | CUMALA |
| 1 | 256.00 | 200.00 | 128.00 | 57.42 |
| 2 | 512.00 | 400.00 | 256.00 | 120.61 |
| 3 | 706.56 | 552.00 | 353.28 | 121.26 |

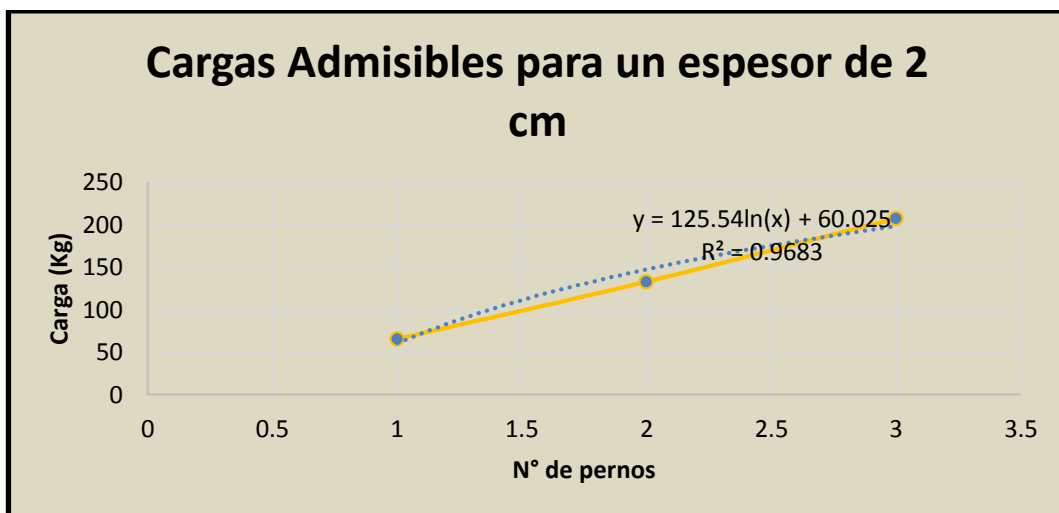
Los valores finales tanto para un espesor de 2 cm y 4 cm son esperados ya que la madera Cumala es de menor densidad que las maderas del grupo C (0,40 g/cm³ - 0,55 g/cm³). Eso implica una menor carga admisible.

6.3 CARGAS ADMISIBLES ESTIMADAS PARA MAS DE 3 PERNOS

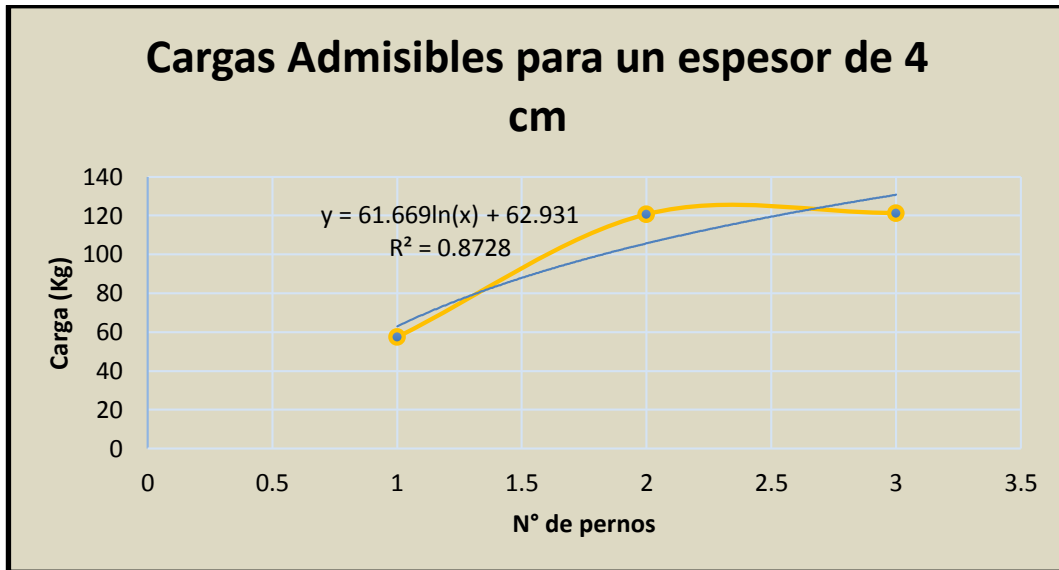
Las estimaciones se realizan, comparando el número de pernos con las cargas admisibles obtenidas en los ensayos utilizando la norma ITINTEC 251.010

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 | 65.34 |
| | 2 | 132.64 |
| | 3 | 207.03 |
| 4 | 1 | 57.42 |
| | 2 | 120.61 |
| | 3 | 121.26 |



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



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

Ya obtenidas las ecuaciones de proyección para cada grupo, se pueden hacer estimaciones de cargas admisibles para 4, 5, 6 y 7 pernos respectivamente, obteniéndose los valores que se muestran en las Tablas 6.13 y 6.14.

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 | 234.06 |
| 5 | 262.07 |
| 6 | 284.96 |
| 7 | 304.31 |

Tabla Nº 6.14 Proyección de cargas admisibles con respecto al número de pernos para un espesor de 4 cm.

| Nº de pernos | Carga admisible (Kg) |
|--------------|----------------------|
| 4 | 148.42 |
| 5 | 162.18 |
| 6 | 173.43 |
| 7 | 182.93 |

De estas estimaciones se puede observar que mientras el número de pernos aumenta la carga admisible aumenta, pero no de manera proporcional a la cantidad de pernos, con lo cual se puede deducir que la eficiencia al colocar muchos pernos en la línea de la dirección de la carga disminuye ya que probablemente la distribución de esfuerzos entre los pernos no es constante.

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

El manual de diseño del grupo Andino tiene un capítulo sobre las cargas admisibles en uniones empernadas (Sección 12.2), se comparan los resultados obtenidos y el cálculo obtenido de esta norma en mención.

Para espesor 2 cm y 1 perno ($l/d=3.15$):

En principio, se halla el 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 obtuvo 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 la Norma E.010 (R.N.E)

| 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 relación de esbeltez es $l/d=2/(0.25 \times 2.54)=3.15$, y también se puede observar que el coeficiente de reducción por esbeltez se mantiene en 1 y la densidad es menor (ya que no se encuentran valores para grupos menores a C), por lo tanto los coeficientes serán de $R_{LP}=1$, $R_u=1$.

Se calculó la carga promedio mediante la fórmula:

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

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

Donde ($\ell_p = 1.27 \text{ cm}^2$) 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 $\frac{1}{4}$ ", La carga promedio será de $P_{LP}=162.14 \text{ Kg}$ Y $P_U=206.61 \text{ Kg}$. Entonces la carga admisible es el menor valor:

$$P_{LP,admisibile} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}; \quad P_{LP,admisibile} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

El valor de F_{LP} Y F_u se obtienen 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). Y la Norma E.010 (R.N.E)

| 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 **68.87 Kg**.

Para espesor 2 cm y 2 pernos ($l/d=3.15$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, utilizaremos la Tabla 6.10 y usando la ecuación:

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

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.10).

Por lo tanto la carga admisible es **137.74 kg**.

Para espesor 2 cm y 3 pernos ($l/d=3.15$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, utilizaremos la Tabla 6.10 y usando la ecuación:

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

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.10).

Por lo tanto la carga admisible es **190.08 kg**.

Para espesor 4 cm y 1 perno ($l/d=6.3$):

En principio, 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 obtuvo 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 $l/d=4/(0.25 \times 2.54)=6.3$, como en el anterior caso (2 cm) no se tiene datos para una madera con menor densidad del tipo C, así que se asumirá el valor del tipo C, interpolando el valor de $l/d=6$ y $l/d=7$ (Tabla 6.16) entonces los valores serán de $R_{LP} = 0.61$, $R_u=1.0$.

Ahora se calcula la carga promedio mediante la fórmula:

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

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

Donde ($\ell_p = 2.54 \text{ cm}^2$) 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 $\frac{1}{4}$ ", La carga promedio será de $P_{LP} = 197.82 \text{ Kg}$ y P_u será de 413.23 kg.

Entonces la carga admisible es el menor de:

$$P_{LP,admisibile} = \frac{P_{LP,promedio}}{F_{LP}}; \quad P_{LP,admisibile} = \frac{P_{u,min}}{F_u}$$

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

Por lo tanto, el valor de la carga admisible es de **118.45 Kg**.

Para espesor 4 cm y 2 pernos ($\ell/d=6.3$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, utilizaremos la Tabla 6.10 y usando la ecuación:

$$P_{LP,admisibile} = P_{LP,admisibile\ perno}(N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.10).

Por lo tanto la carga admisible es **236.90 kg**

Para espesor 4 cm y 3 pernos ($\ell/d=6.3$):

Como se tiene el mismo espesor y el mismo diámetro del perno, utilizaremos la Tabla 6.10 y usando la ecuación:

$$P_{LP,admisibile} = P_{LP,admisibile\ perno}(N)(F_c)$$

Donde:

N: Numero de pernos.

Fc: Factor de reducción de carga por el número de pernos (Tabla 6.10).

Por lo tanto la carga admisible es **326.93 kg**

Por ultimo mostramos la Tabla 6.17 donde mostramos 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 | 65.39 | 68.87 | 5.05% |
| | 2 | 132.64 | 137.74 | 3.70% |
| | 3 | 207.03 | 190.08 | 8.18% |
| 4 | 1 | 57.42 | 118.45 | 51.52% |
| | 2 | 120.61 | 236.9 | 49.09% |
| | 3 | 121.26 | 326.93 | 62.91% |

6.5 RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD Y EL ESFUERZO ADMISIBLE

Para obtener una relación entre la densidad y el esfuerzo admisible (parecida a la ecuación utilizada en la sección 6.4), para ello se utilizó las cargas admisibles de la norma E.010 para las maderas A, B y C y los valores obtenidos del laboratorio para la madera Cumala. Se realizó los siguientes pasos:

- Se cambian 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 (l/p).
- Se hace un ajuste a una ecuación potencial ($ax^b=y$) y se tienen los valores de a y b.

Para $l/d=3.15$ y un perno

Se acomodan los datos obtenidos para $l/d=3.15$ y un perno que se presenta en la Tabla 6.18:

Tabla 6.18 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=3.15$ y un perno

| GRUPO | DENSIDAD (gr/cm ³) | CARGA ADMISIBLE (Kg) | ESFUERZO ADMISIBLE (Kg/cm ²) |
|--------|--------------------------------|----------------------|--|
| A | 0.78 | 195 | 153.54 |
| B | 0.63 | 131 | 103.15 |
| C | 0.48 | 75 | 59.06 |
| CUMALA | 0.38 | 65.39 | 51.49 |

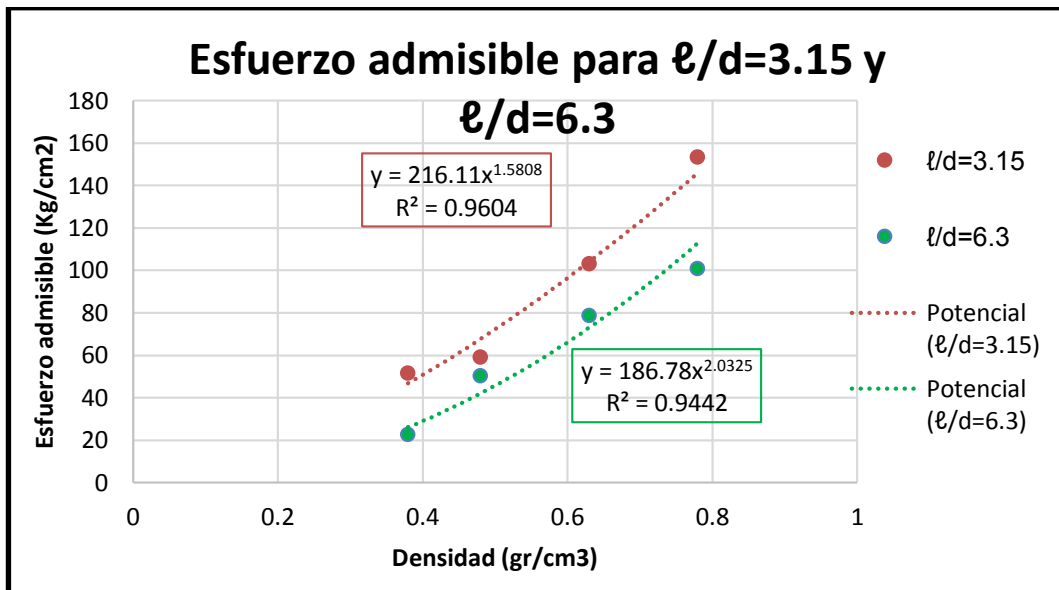
Para $l/d=6.3$ y un perno

Se acomodan los datos obtenidos para $l/d=6.3$ y un perno que se presenta en la Tabla 6.19:

Tabla 6.19 Densidades, cargas y esfuerzos para cada grupo de madera con $l/d=6.3$ y un perno

| GRUPO | DENSIDAD (gr/cm ³) | CARGA ADMISIBLE (Kg) | ESFUERZO ADMISIBLE (Kg/cm ²) |
|--------|--------------------------------|----------------------|--|
| A | 0.78 | 256 | 100.79 |
| B | 0.63 | 200 | 78.74 |
| C | 0.48 | 128 | 50.39 |
| CUMALA | 0.38 | 57.42 | 22.61 |

Luego se realizó el ajuste entre densidad y esfuerzo admisible para $l/d=3.15$ y $l/d=6.3$, que se presenta en el Gráfico 6.21:



Gráfica 6.21 Relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=3.15$ y $l/d=6.3$

Por lo tanto la relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=3.15$ será:

$$\sigma = 216.11\rho^{1.5808}$$

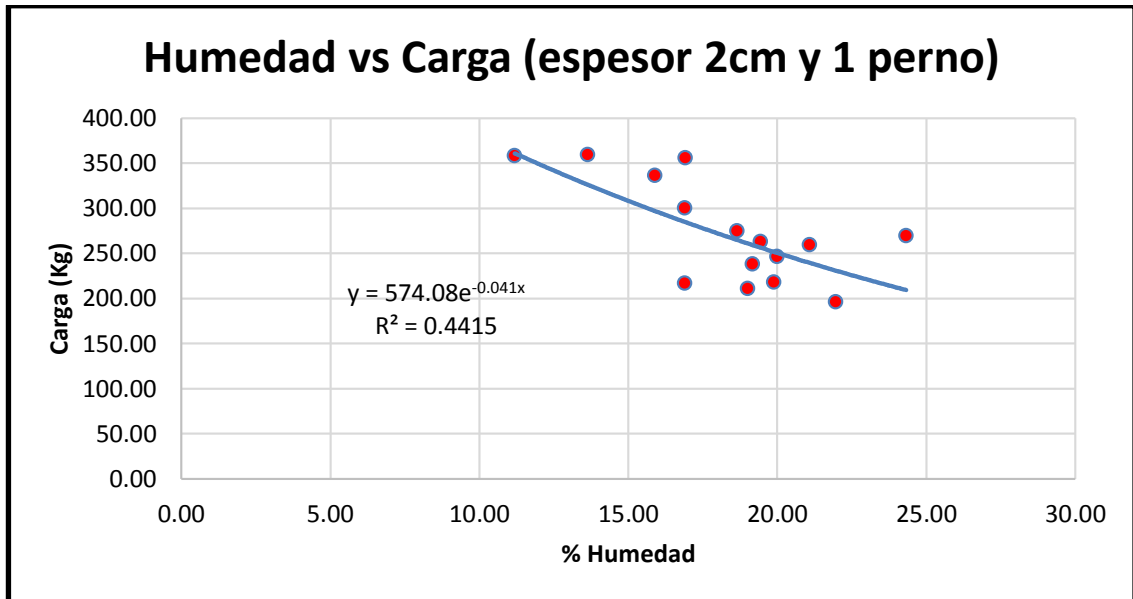
Por otro lado, la relación entre la densidad y el esfuerzo admisible para $l/d=6.3$ será:

$$\sigma = 186.78\rho^{2.0325}$$

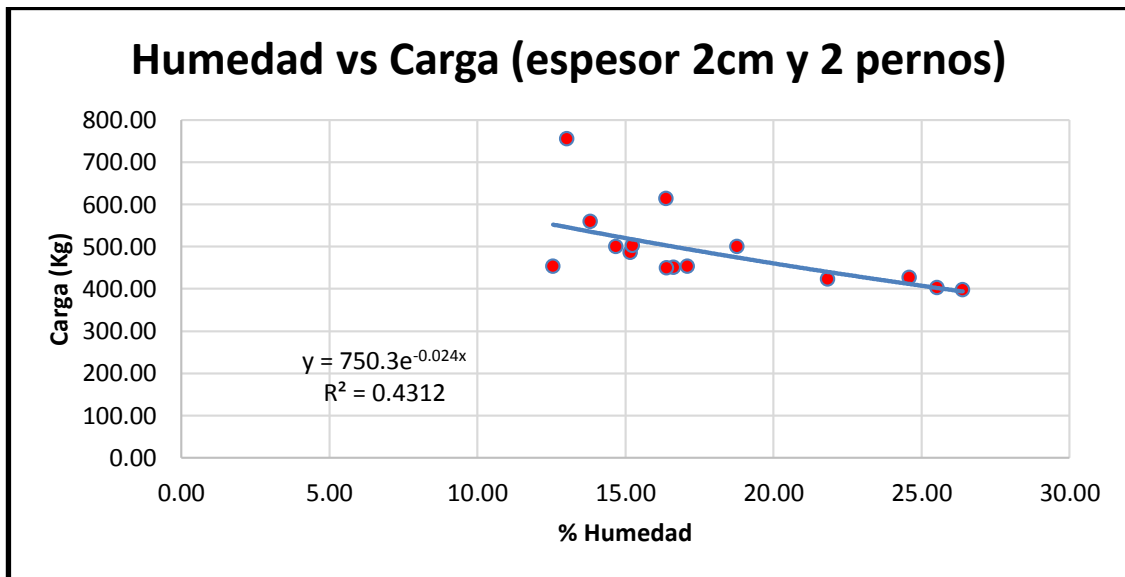
6.6 EFECTOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA RESISTENCIA DE LAS PROBETAS

Según el manual de diseño para maderas del grupo andino, la relación entre el contenido de humedad y la resistencia es del tipo exponencial, el cual se colocó para cada gráfica.

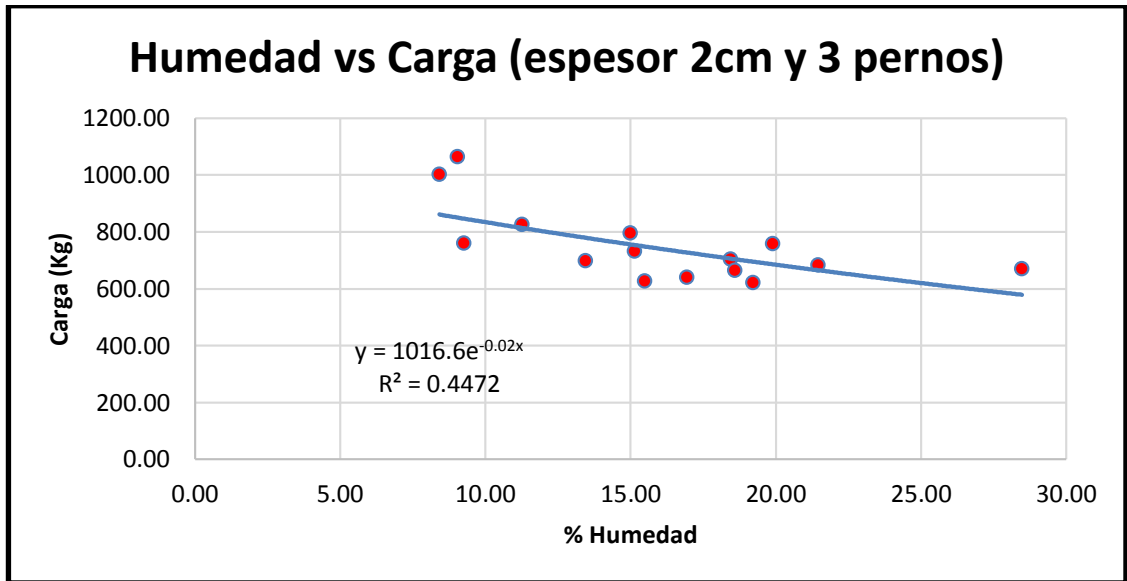
También se realizó comparaciones entre los contenidos de humedad de las probetas mediante muestras y la carga obtenida. Los valores se muestran a continuación:



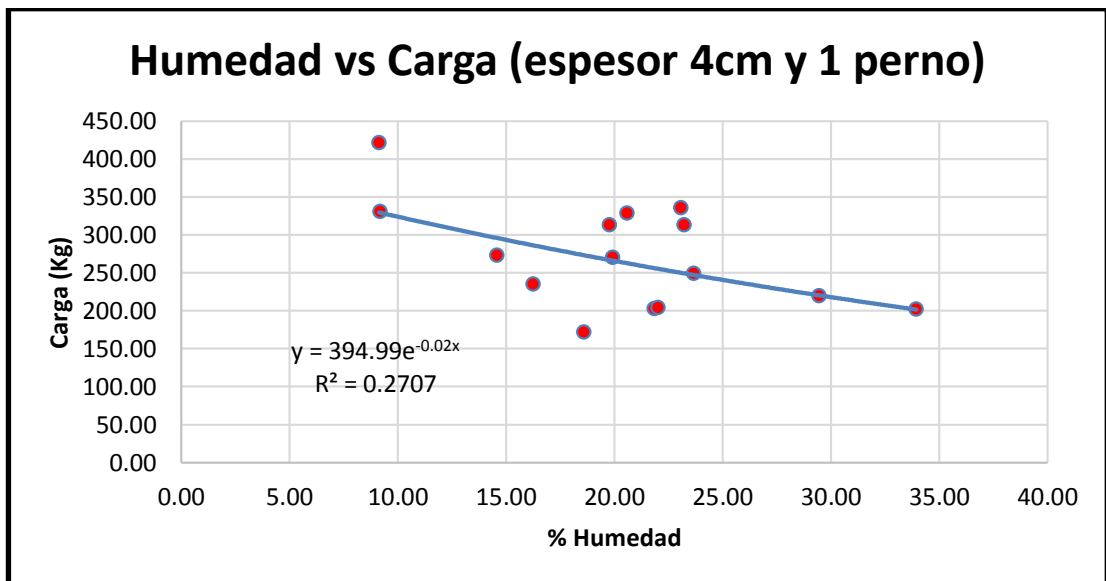
Grafica N° 6. 22- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 1 perno



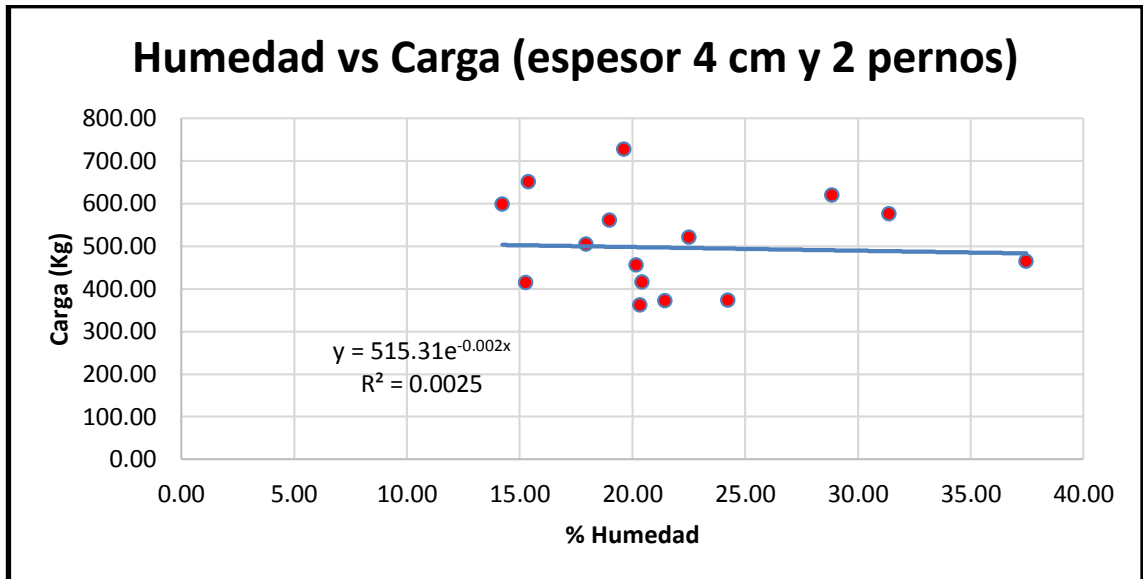
Grafica N° 6. 23- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 2 pernos



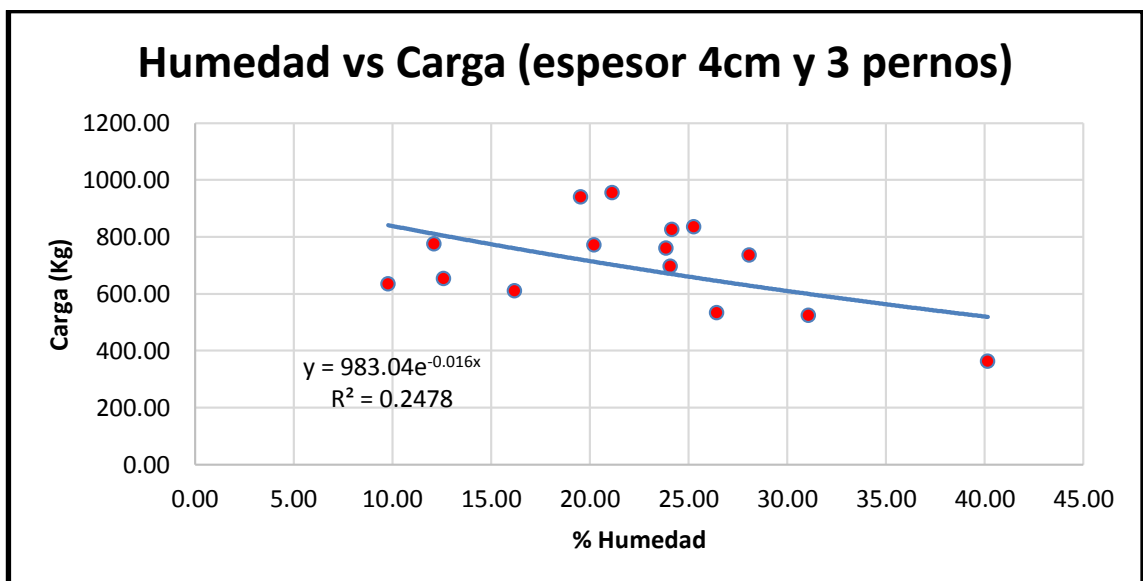
Grafica N° 6. 24- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 2 cm y 3 pernos



Grafica N° 6. 25- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 1 perno



Grafica N° 6. 26- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 2 pernos



Grafica N° 6. 27- Carga admisible comparada con la humedad para probetas de 4 cm y 3 pernos

Se concluye según las gráficas, que hay un cambio decreciente de resistencia a consecuencia de tener una mayor humedad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores obtenidos en los ensayos con la madera Cumala que corresponden a los esfuerzos admisibles tienen valores esperados con respecto con la clasificación de las maderas que se tiene en la Norma E.010. Si bien la madera Cumala no se encuentra en ninguna de las 3 clasificaciones, su densidad es inmediatamente menor a 0.40gr/cm^3 que corresponde a las maderas del grupo C. los esfuerzos resultantes también representan valores inmediatamente inferiores a los del grupo C.
- En la pág. 95 vemos que la variación de las dos cargas obtenidas de la parte experimental y la otra por el manual de diseño del grupo andino tienen una variación máxima de 62.91%. por lo que no se recomienda usar este último método para hallar la carga admisible ya que la madera cumala tiene una densidad menor a 0.40 gr/cm^3 .
- Se observa en las curvas de esfuerzo-deformación para espesores centrales de 4 cm, presentan una baja rigidez. esto puede explicarse a que para ese espesor, el diámetro del perno es pequeño con respecto a la pieza central.
- Se concluye que las cargas obtenidas para especímenes con espesores de 4 cm han sido influenciadas por el valor de esbeltez (ℓ/d) alto ($\ell/d=6.3$) que según el Manual de diseño para maderas del grupo andino necesita coeficientes de reducción por esbeltez.
- las probetas deben de estar lo más niveladas posibles y tener las mismas dimensiones para evitar distorsiones al inicio de las curvas de esfuerzo-deformación que se producen debido a que las piezas de madera sufrirían un reacomodo. Esto se tomó en cuenta en la etapa de cálculo de fuerzas al límite proporcional.
- De acuerdo al grafico de tendencias, mientras más pernos se encuentren en la línea de falla no se producirá un incremento lineal de la resistencia, esto debido que los pernos no resisten las mismas cargas, (No hay una distribución uniforme de esfuerzos en los pernos).

Los resultados de la carga con respecto a la humedad indican que la resistencia es menor cuando se tiene mayor humedad. Estos resultados se observan claramente cuando se compara las resistencias obtenidas para los espesores de 2 cm y 4 cm, en las cuales el contenido de humedad es tan influyente que reduce la carga de las muestras de espesor de 4 cm.

Para poder obtener más datos sobre la influencia de la esbeltez (l/d) y el número de pernos sobre la resistencia de uniones empernadas se necesita hacer más ensayos por cantidad de pernos, porque se observa que la tendencia se mantiene con el aumento de pernos, en cambio aumentando el diámetro de los pernos y/o la madera se logra aumentar la resistencia de las probetas.

En estos ensayos la falla más representativa es la falla por corte ya que las áreas de los pernos es pequeño con relación al ancho de la madera. Se recomienda realizar futuros estudios con un perno inmediatamente superior para tener un comportamiento que exija al máximo a la madera en el comportamiento ante el esfuerzo por corte, como por ejemplo pernos de 1/2" de espesor.

También queda pendiente futuros estudios en maderas empernadas y a doble cizallamiento con fuerzas perpendiculares y formando un determinado Angulo con respecto a la dirección de fibra ya que es común encontrar estructuras trabajando en dichas posiciones. Como por ejemplo armaduras, columnas y diagonales etc.

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. ASTM International. (2006). Standard test methods for mechanical fasteners in wood. ASTM D1761.
4. Centeno, J. (1983). Normas de diseño para uniones clavadas con maderas venezolanas. *IFLA, Mérida*.
5. Echavarría, C. (2007). Bolted timber joints with self-tapping screws. *Revista EIA*, (8), 37-47.
6. Espina, A. (2006). Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. *Trabajo de Titulación Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales*.
7. 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 dinámica 1991-2005.
8. Delgado, G., & Gustavo, A. (1981). Propiedades de la madera. *Universidad Nacional de los Andes. Escuela de ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela*.
9. 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).
10. Hansen, H. J. (1961). *Diseño moderno de estructuras de madera* (No. TA419 H3e).
11. JUNTA, D. A. D. C. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo andino. *Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico. Junta del acuerdo de Cartagena. Bogotá-Colombia. 600p*.
12. 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.

13. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (1981). *Evaluación del potencial forestal de la Selva Central del Perú*. Lima, Perú.
14. 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*.
15. Parker, H., Ambrose, J., & Juárez, R. A. (1972). *Diseño simplificado de estructuras de madera* (No. TA666. P37 1972.). Limusa-Wesley.
16. 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.
17. 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.
18. Reglamento Nacional De Edificaciones (2014) Lima - Perú.
19. SERFOR. (2016). *Primer Informe Parcial del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Lima, Perú. 210 p + Anexos.
20. 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.
21. Solari Ruiz, Carlos C. (1971). *Estudio del comportamiento fisico-mecanico y de uniones empernadas de la madera Apocynacea*. Lima UNI-FIC.
22. 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.
23. Vargas A, Raúl A. (2003). *Diseño y ensayo de uniones para cerchas de madera*, Chile.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- [24] [http://es.wikipedia.org/wiki/definicion de la madera.](http://es.wikipedia.org/wiki/definicion_de_la_madera)
- [25] [http://es.wikipedia.org/wiki/ madera con pernos.](http://es.wikipedia.org/wiki/madera_con_pernos)
- [26] [http://maderasperu.com/cumala.](http://maderasperu.com/cumala)

ANEXO

ESPECIMEN 01 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

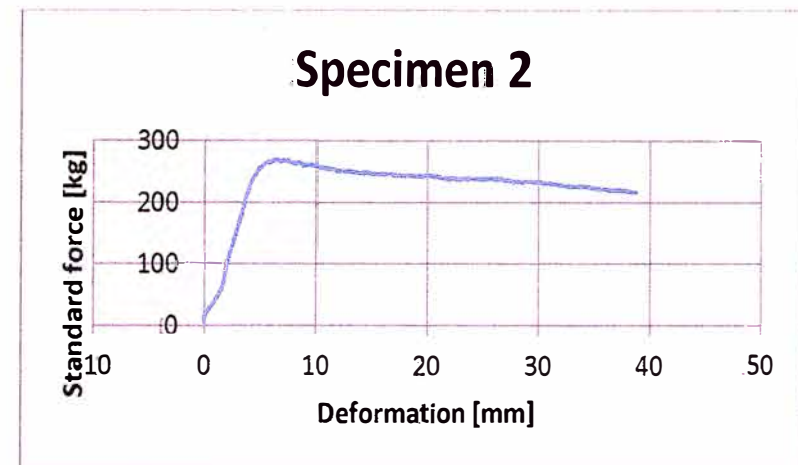
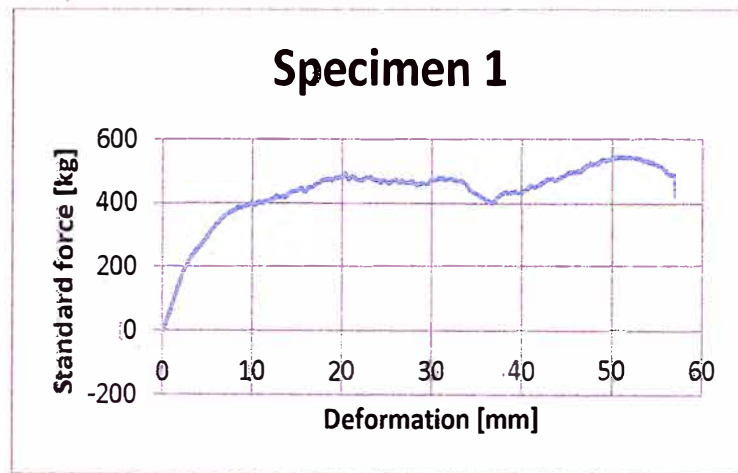
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.21924505 |
| 1.13442779 | 84.9198675 |
| 2.27196717 | 179.621642 |
| 3.41884828 | 237.707625 |
| 5.46372747 | 313.544213 |
| 8.12088966 | 378.867742 |
| 11.0414982 | 397.627782 |
| 14.3017492 | 434.30794 |
| 17.4808941 | 463.709724 |
| 19.7374668 | 480.20209 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 23.8290501 | 473.384282 |
| 27.2518253 | 463.507424 |
| 30.0148277 | 473.456727 |
| 34.1218033 | 448.388836 |
| 38.7284889 | 432.44392 |
| 42.4432411 | 466.445232 |
| 46.6414719 | 503.802795 |
| 51.1485405 | 546.001669 |
| 53.0841599 | 537.005362 |
| 56.9850235 | 420.323289 |

ESPECIMEN 02 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 13.7014159 |
| 1.07117569 | 44.5954874 |
| 2.07224607 | 105.278878 |
| 2.91159749 | 155.674742 |
| 3.53827596 | 194.549032 |
| 4.78460979 | 252.352253 |
| 6.88488245 | 266.359808 |
| 9.00546646 | 261.091341 |
| 11.4407759 | 254.34553 |
| 13.575943 | 249.004542 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 15.9013128 | 246.285191 |
| 18.6613731 | 243.267866 |
| 21.1917133 | 240.742451 |
| 23.1143799 | 237.869893 |
| 26.5284729 | 238.426729 |
| 27.4828453 | 234.650567 |
| 30.9172554 | 230.245822 |
| 33.637825 | 226.26721 |
| 36.3788605 | 219.651229 |
| 38.7841988 | 215.544755 |



ESPECIMEN 03 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

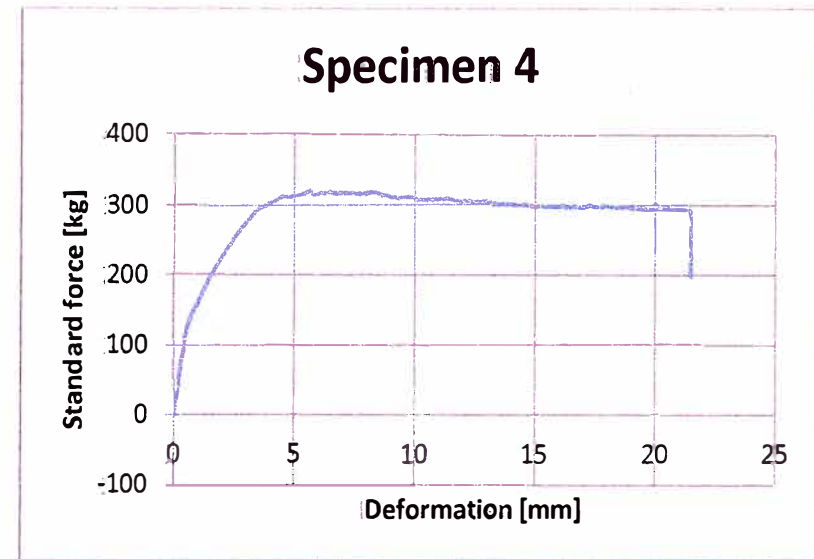
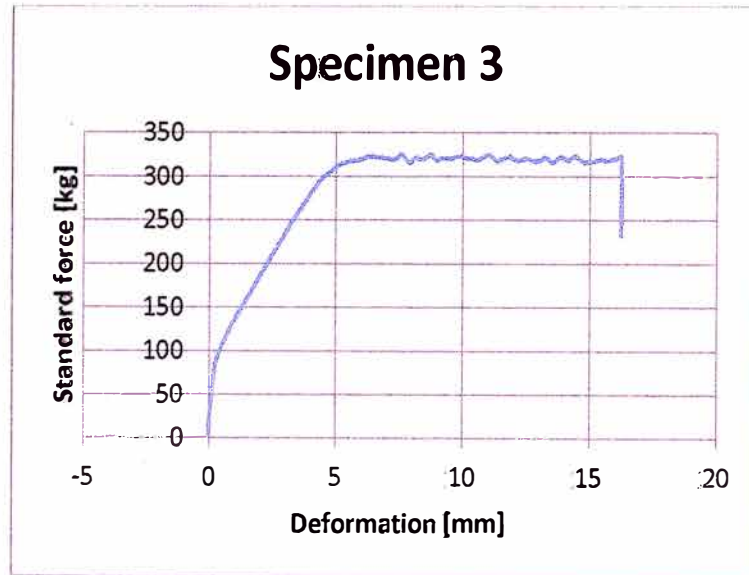
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 16.0956366 |
| 0.00229616 | 8.67652083 |
| 0.36060762 | 95.7660706 |
| 0.96468729 | 133.806498 |
| 1.55647659 | 163.831037 |
| 2.21970439 | 196.267941 |
| 2.86490178 | 227.795097 |
| 3.5674479 | 261.45693 |
| 4.28342867 | 292.024305 |
| 5.50747633 | 317.378421 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 6.78510046 | 320.756047 |
| 7.09442663 | 319.965393 |
| 8.09500599 | 320.947985 |
| 9.91755772 | 322.784037 |
| 11.1394825 | 322.269703 |
| 12.3604164 | 319.14609 |
| 13.8354559 | 321.789386 |
| 14.0756445 | 318.451632 |
| 15.8264494 | 319.072723 |
| 16.2529259 | 274.999969 |

ESPECIMEN 04 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.10954298 |
| 1.07019567 | 165.166853 |
| 2.28720093 | 242.246283 |
| 3.68835425 | 298.113014 |
| 4.77216291 | 311.128188 |
| 5.93395567 | 314.621114 |
| 7.01807737 | 316.897227 |
| 8.22886276 | 317.284152 |
| 9.48419666 | 310.006649 |
| 10.5195007 | 306.319962 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 11.6218147 | 305.956265 |
| 12.8897705 | 304.342395 |
| 14.0119171 | 300.873268 |
| 15.1818933 | 298.855769 |
| 16.4215088 | 296.725418 |
| 17.5105553 | 296.830751 |
| 18.9113884 | 297.338817 |
| 19.9226151 | 293.829111 |
| 20.7391853 | 292.304092 |
| 21.5017071 | 252.746945 |



ESPECIMEN 05 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 14.4056165 |
| 0.83459473 | 104.925184 |
| 1.79650378 | 173.815736 |
| 2.72236252 | 229.094546 |
| 3.65264678 | 276.963466 |
| 4.5082202 | 304.004104 |
| 5.53008556 | 317.787811 |
| 6.31602764 | 323.263006 |
| 7.29448032 | 327.406633 |
| 8.16954327 | 330.904755 |

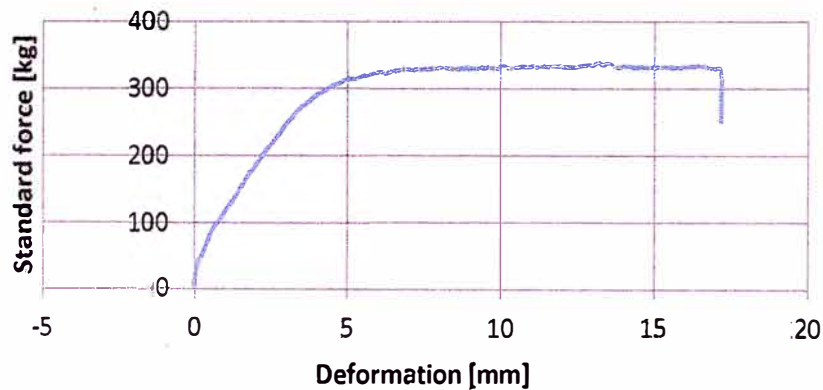
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.02102947 | 329.695484 |
| 9.95524406 | 331.844761 |
| 10.8365364 | 331.893806 |
| 11.7001352 | 333.725536 |
| 12.8579912 | 334.650123 |
| 13.5372667 | 336.315618 |
| 14.8964949 | 331.737884 |
| 15.8950977 | 331.377295 |
| 16.8532333 | 330.324807 |
| 17.178133 | 283.388532 |

ESPECIMEN 06 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

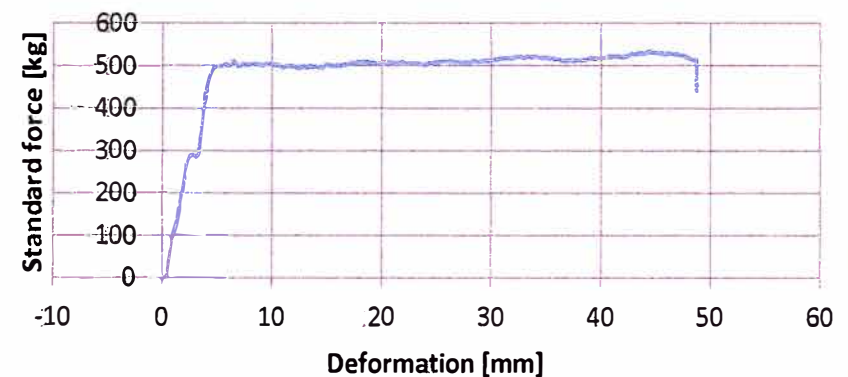
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.23766622 |
| 1.2035656 | 114.254061 |
| 2.30734611 | 274.398114 |
| 3.84991002 | 403.133552 |
| 4.61470366 | 492.548872 |
| 7.12703276 | 500.327395 |
| 9.95343399 | 505.354177 |
| 12.8488226 | 499.03587 |
| 15.4848394 | 497.407461 |
| 18.333847 | 508.856365 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 21.3640709 | 506.185136 |
| 24.2147179 | 505.297814 |
| 27.1717072 | 506.371504 |
| 30.0738049 | 511.648037 |
| 33.2431221 | 520.668343 |
| 36.3587151 | 511.39729 |
| 39.6138802 | 517.13429 |
| 42.539238 | 524.379254 |
| 45.4051361 | 529.939246 |
| 48.7471504 | 439.600207 |

Specimen 5



Specimen 6



ESPECIMEN 07 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

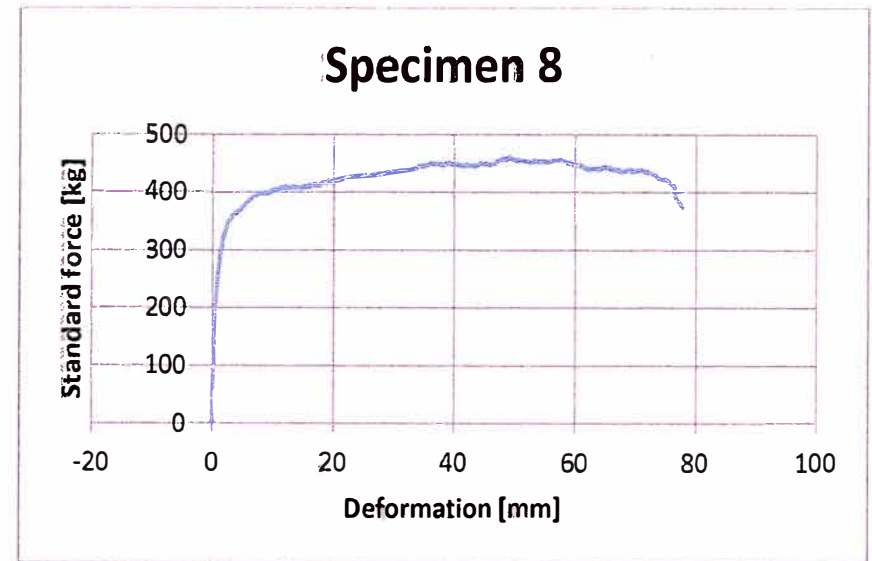
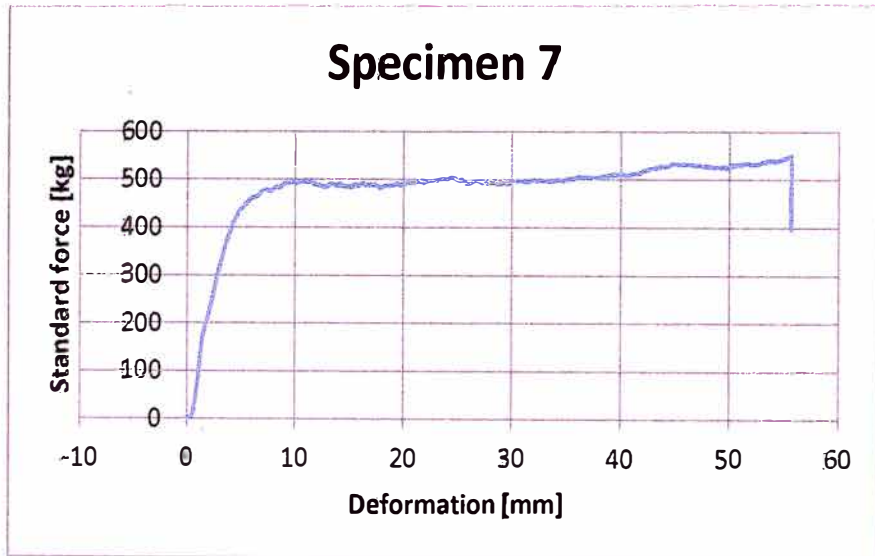
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.09743455 |
| 1.42506611 | 166.389504 |
| 2.7366147 | 292.306731 |
| 4.0932045 | 398.472807 |
| 6.60830832 | 468.305567 |
| 9.99701023 | 495.085665 |
| 13.4030809 | 489.341098 |
| 16.6630116 | 485.814861 |
| 20.1503468 | 491.002717 |
| 23.6360378 | 502.113242 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 27.1038837 | 495.231154 |
| 30.5974407 | 497.344974 |
| 34.1547279 | 499.42638 |
| 37.7113762 | 504.404218 |
| 41.3065109 | 512.683437 |
| 44.8834648 | 532.579754 |
| 48.5710182 | 524.761647 |
| 51.6331825 | 533.338267 |
| 54.8492012 | 542.302708 |
| 55.6661148 | 415.550838 |

ESPECIMEN 08 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 14.2224116 |
| 0.7726599 | 244.433769 |
| 3.07116747 | 355.819367 |
| 7.22714758 | 395.911915 |
| 11.730279 | 406.385541 |
| 15.9550638 | 411.001275 |
| 20.3870888 | 420.642697 |
| 24.955452 | 430.05879 |
| 29.5056133 | 436.206763 |
| 34.4186745 | 445.300311 |

| x(mm) | y(kg) |
|--------------|------------|
| 38.83368301 | 449.907208 |
| 43.20132828 | 446.792443 |
| 47.50605774 | 456.499115 |
| 52.05934143 | 453.441162 |
| 56.44795609 | 455.756336 |
| 60.7277832 | 446.486677 |
| 65.21044922 | 443.017103 |
| 69.56710815 | 436.424996 |
| 72.543121815 | 348.767666 |
| 77.84709167 | 373.482565 |



ESPECIMEN 09 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.90362977 |
| 1.08871067 | 213.427948 |
| 2.53967428 | 411.704894 |
| 4.26376486 | 489.170913 |
| 6.65566349 | 548.054445 |
| 9.26136971 | 573.49522 |
| 11.707509 | 577.521356 |
| 14.5589771 | 572.760954 |
| 17.1640358 | 596.321029 |
| 20.1002102 | 595.844879 |

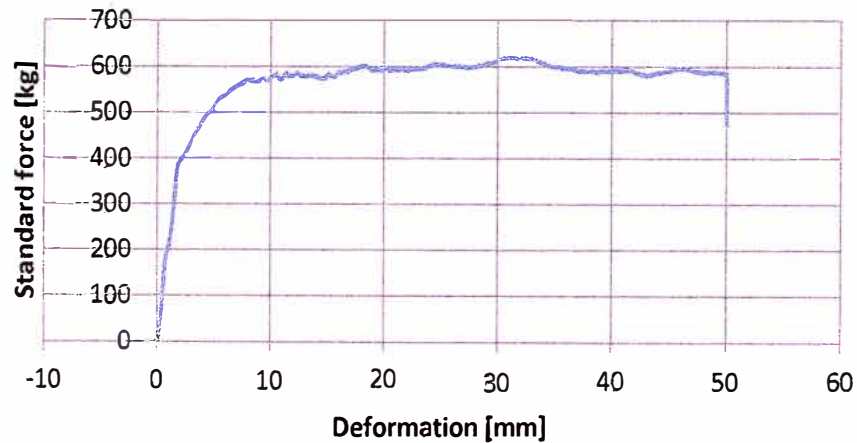
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 23.0902843 | 593.399951 |
| 26.2737103 | 598.733743 |
| 29.3409519 | 607.431754 |
| 33.1385994 | 614.459132 |
| 36.3606682 | 593.900548 |
| 39.4433289 | 588.325667 |
| 42.3708229 | 583.047939 |
| 45.4143066 | 592.278113 |
| 48.5215416 | 587.591452 |
| 50.050499 | 513.262704 |

ESPECIMEN 10 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

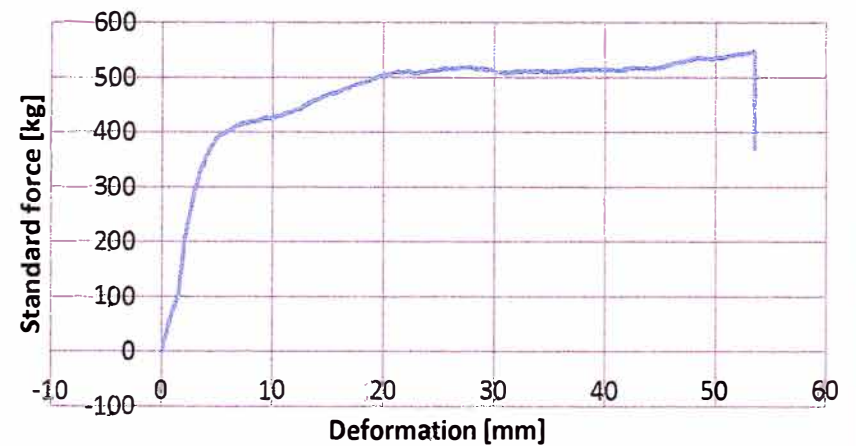
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.33313674 |
| 1.18619347 | 83.1674108 |
| 2.4474318 | 240.793934 |
| 3.71916437 | 343.408729 |
| 6.01061916 | 403.415293 |
| 9.29741955 | 426.079806 |
| 12.7261066 | 446.517149 |
| 16.0551682 | 475.34614 |
| 19.6683235 | 501.149242 |
| 23.1931763 | 508.42657 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 26.916935 | 516.995921 |
| 30.2253628 | 509.806772 |
| 33.7494011 | 510.322904 |
| 37.9753151 | 514.446332 |
| 41.319294 | 513.470481 |
| 44.8754349 | 517.979837 |
| 48.2254715 | 534.471756 |
| 51.6497307 | 541.152938 |
| 53.5450401 | 464.046459 |
| 53.5430756 | 436.956563 |

Specimen 9



Specimen 10



ESPECIMEN 11 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.96788576 |
| 0.94666743 | 198.775477 |
| 2.78707981 | 367.052203 |
| 6.98384142 | 441.857076 |
| 11.7291384 | 450.675679 |
| 16.8191528 | 436.724637 |
| 22.2982826 | 437.434505 |
| 27.914566 | 421.741431 |
| 33.5719604 | 419.748205 |
| 39.114006 | 436.49082 |

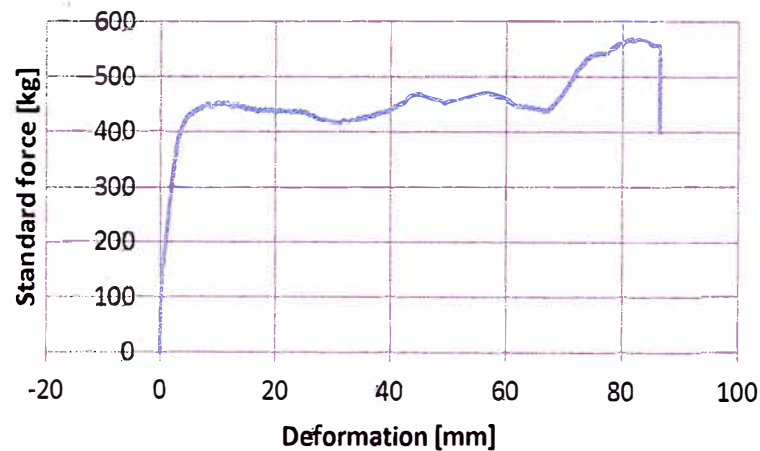
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 44.2762718 | 468.30487 |
| 49.5984535 | 455.362839 |
| 55.2065392 | 466.530524 |
| 60.5483818 | 456.871999 |
| 66.1530151 | 439.347071 |
| 71.0508499 | 491.477971 |
| 75.8318634 | 540.639495 |
| 80.6905365 | 566.022761 |
| 86.111351 | 557.244189 |
| 86.4980164 | 460.04238 |

ESPECIMEN 12 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

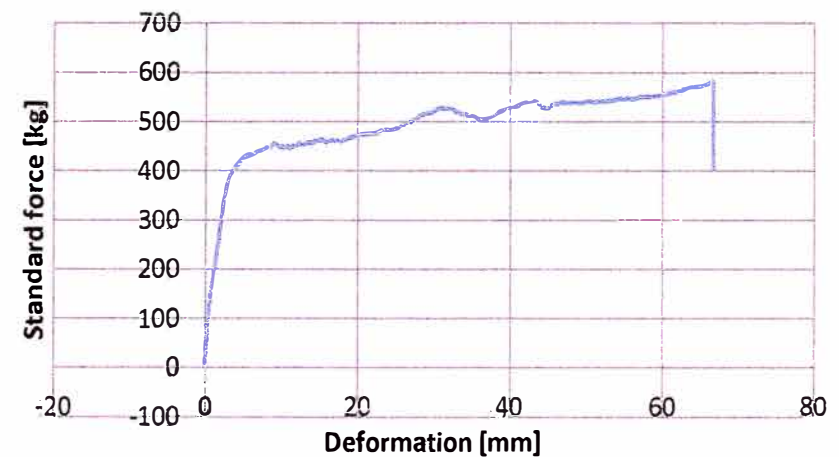
| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 0 | 7.84872236 |
| 0.944854259 | 181.820878 |
| 2.484785795 | 344.780591 |
| 5.372470379 | 430.388903 |
| 9.358538628 | 452.133605 |
| 13.33428097 | 455.982137 |
| 17.34507561 | 461.283915 |
| 21.50793076 | 474.982966 |
| 25.69945145 | 490.353992 |
| 29.54214478 | 518.7147 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 33.7182579 | 515.583903 |
| 37.8327751 | 511.792032 |
| 41.6235466 | 536.263777 |
| 45.4945984 | 534.634522 |
| 49.5258751 | 538.272539 |
| 53.5997505 | 544.703273 |
| 57.6505356 | 549.923942 |
| 61.3618393 | 559.347902 |
| 65.3039932 | 572.418792 |
| 66.7231903 | 402.545024 |

Specimen 11



Specimen 12



ESPECIMEN 13 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 11.2010021 |
| 0.73482209 | 73.7412908 |
| 2.83950448 | 152.643463 |
| 4.18020248 | 310.771337 |
| 7.12818193 | 359.150598 |
| 10.2802925 | 358.892059 |
| 13.539237 | 357.003816 |
| 16.8815765 | 353.559212 |
| 20.6882286 | 351.647194 |
| 24.327282 | 341.439501 |

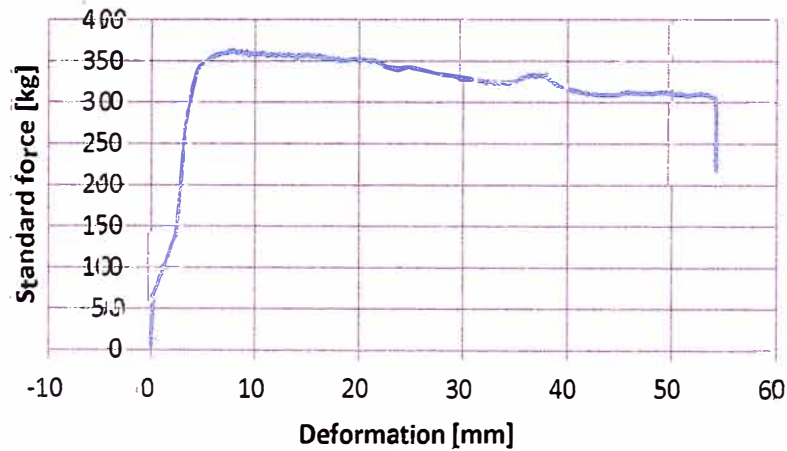
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 27.95961 | 333.758842 |
| 31.4777546 | 325.964586 |
| 35.2801476 | 327.239654 |
| 38.8097572 | 325.997373 |
| 42.3144531 | 309.899773 |
| 45.9974136 | 311.424717 |
| 49.5525856 | 311.554248 |
| 53.1432953 | 309.714527 |
| 54.2456207 | 269.093275 |
| 54.2366104 | 218.240904 |

ESPECIMEN 14 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

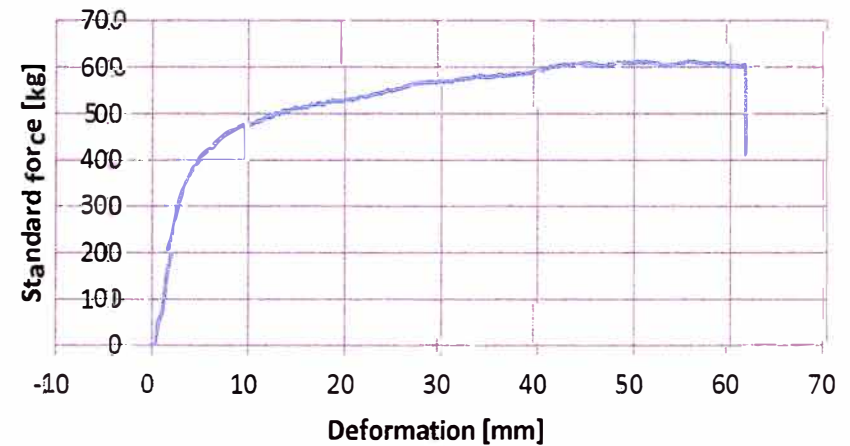
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.88750854 |
| 1.57302701 | 153.621094 |
| 3.01595902 | 294.484632 |
| 4.97679281 | 389.322148 |
| 8.25703239 | 457.920843 |
| 11.8838024 | 494.599756 |
| 15.5700312 | 512.262705 |
| 19.4550076 | 526.63204 |
| 23.6619282 | 543.302159 |
| 27.5608273 | 565.280778 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 31.6060429 | 572.364918 |
| 35.5812798 | 581.441936 |
| 39.2747307 | 587.678785 |
| 42.8890457 | 604.550607 |
| 46.7012749 | 603.009183 |
| 50.2787247 | 610.472679 |
| 54.045887 | 605.607169 |
| 57.7883339 | 607.761319 |
| 61.1395111 | 600.822469 |
| 62.0052452 | 462.75384 |

Specimen 13



Specimen 14



ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 1 PERNO

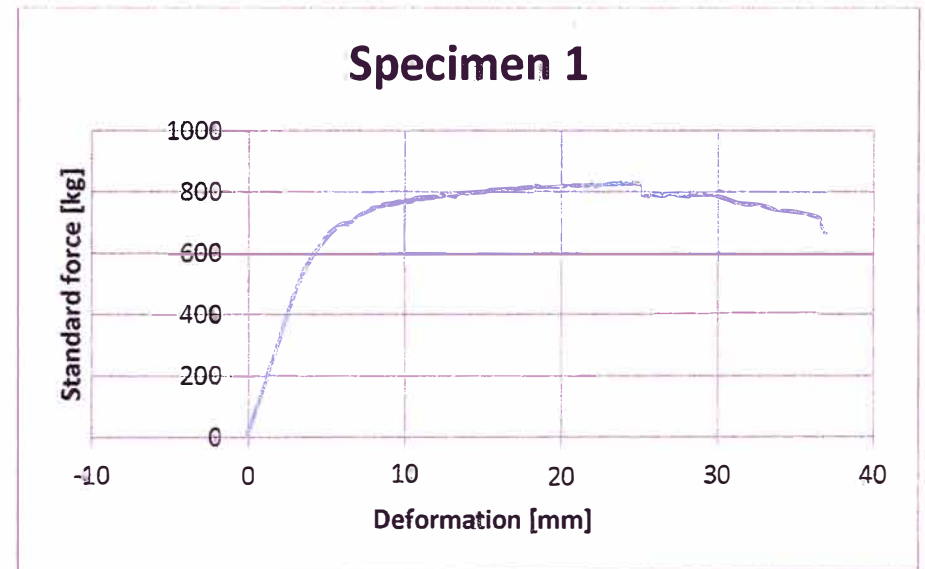
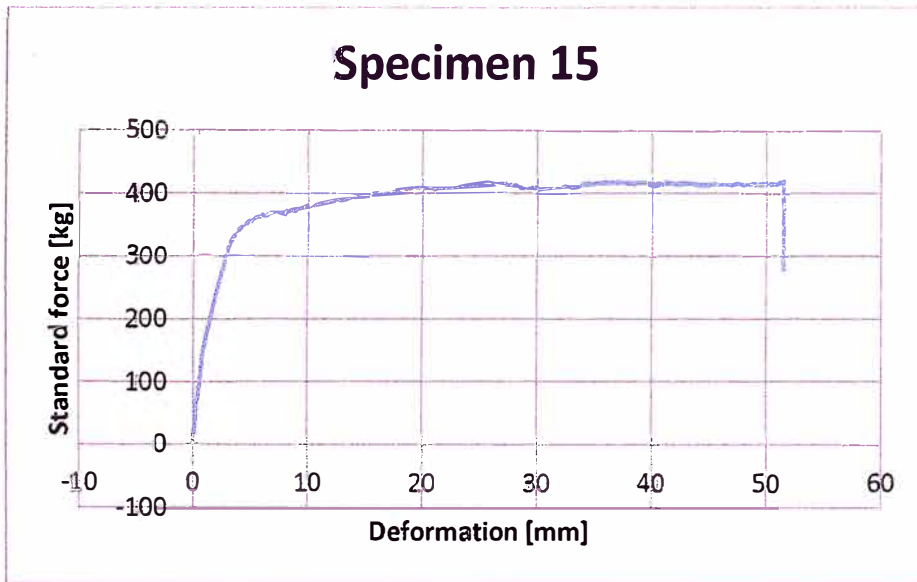
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 6.81580147 |
| 0.4399024 | 82.7069016 |
| 1.62774885 | 213.659923 |
| 2.88865399 | 301.057644 |
| 5.21878672 | 359.490296 |
| 8.50116539 | 372.834935 |
| 11.6406612 | 385.705019 |
| 15.1089954 | 396.799735 |
| 18.4472332 | 405.472775 |
| 22.157877 | 406.779137 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 25.6416035 | 414.776067 |
| 29.0401363 | 407.296389 |
| 32.3705215 | 411.031697 |
| 35.837204 | 416.438359 |
| 39.2244377 | 416.792845 |
| 42.3747559 | 414.041852 |
| 45.4926262 | 413.977273 |
| 48.6624374 | 414.081884 |
| 51.5094948 | 388.811917 |
| 51.4970436 | 277.046414 |

ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 14.2080034 |
| 0.16186117 | 41.4474248 |
| 1.25992942 | 206.149375 |
| 2.35978603 | 382.119407 |
| 3.08804226 | 486.817151 |
| 4.20166254 | 601.698439 |
| 5.55483103 | 684.111127 |
| 7.47454071 | 734.362672 |
| 9.7281599 | 766.612989 |
| 11.9298439 | 785.340018 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 14.0556593 | 796.015023 |
| 16.3700657 | 808.973086 |
| 18.6009159 | 813.555685 |
| 20.8792706 | 819.486171 |
| 23.0698051 | 825.788595 |
| 25.1278114 | 795.97514 |
| 27.3638878 | 790.625713 |
| 29.8018398 | 786.631293 |
| 31.8935738 | 757.382367 |
| 34.3451233 | 736.920526 |



ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

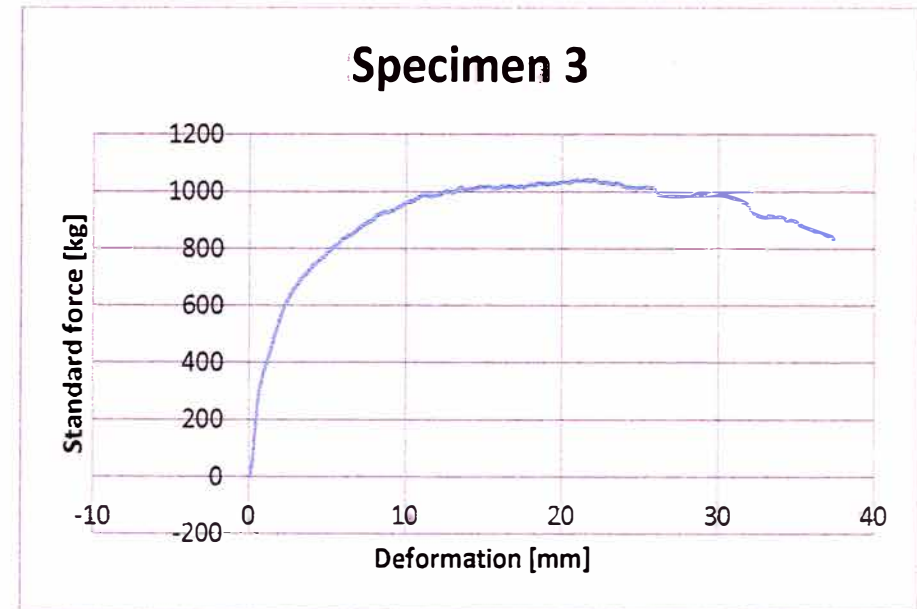
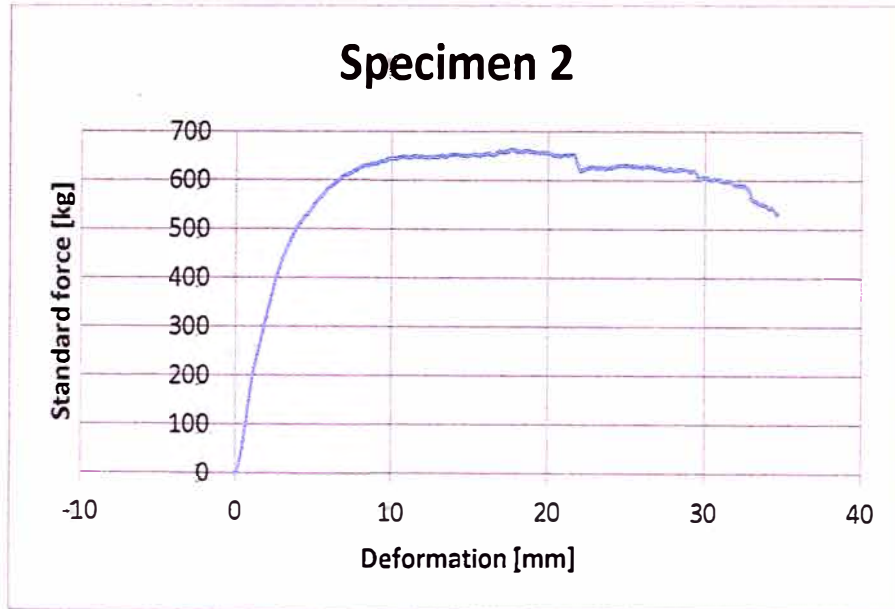
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.58710284 |
| 0.77101594 | 123.017695 |
| 1.69557655 | 280.928705 |
| 2.61865282 | 399.989485 |
| 3.30940366 | 462.481384 |
| 4.10533285 | 511.691953 |
| 5.50616264 | 568.80104 |
| 6.28734732 | 591.901645 |
| 8.11908436 | 627.830758 |
| 10.2213192 | 644.250928 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 12.2055826 | 647.785081 |
| 14.9308977 | 650.987876 |
| 16.9672642 | 659.395605 |
| 20.2548771 | 653.44122 |
| 22.5774708 | 625.782214 |
| 25.3203106 | 628.952546 |
| 28.5391216 | 622.254982 |
| 30.950182 | 602.366582 |
| 33.9961395 | 545.031494 |
| 34.6100502 | 530.951942 |

ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.11915301 |
| 0.99925786 | 377.585578 |
| 2.1798768 | 588.988831 |
| 3.42703462 | 701.715322 |
| 4.951231 | 784.08733 |
| 6.72463417 | 858.397905 |
| 8.50623226 | 926.64291 |
| 10.6215811 | 972.028248 |
| 12.7980261 | 997.630195 |
| 14.9697247 | 1014.39666 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 17.307394 | 1016.07441 |
| 19.5559311 | 1027.83062 |
| 21.8557568 | 1040.18333 |
| 24.0603905 | 1015.48588 |
| 26.47785 | 985.591569 |
| 28.7317886 | 987.374977 |
| 31.223959 | 971.447588 |
| 33.1859474 | 913.000123 |
| 35.3646965 | 878.482331 |
| 37.412365 | 832.40256 |



ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.45818657 |
| 0.00802478 | 19.514013 |
| 0.54426837 | 77.5834874 |
| 1.27810931 | 195.046032 |
| 1.98180604 | 319.124247 |
| 2.83344483 | 475.942285 |
| 3.59038353 | 569.013945 |
| 4.65387058 | 639.115999 |
| 6.05305815 | 675.005429 |
| 8.62403297 | 709.062606 |

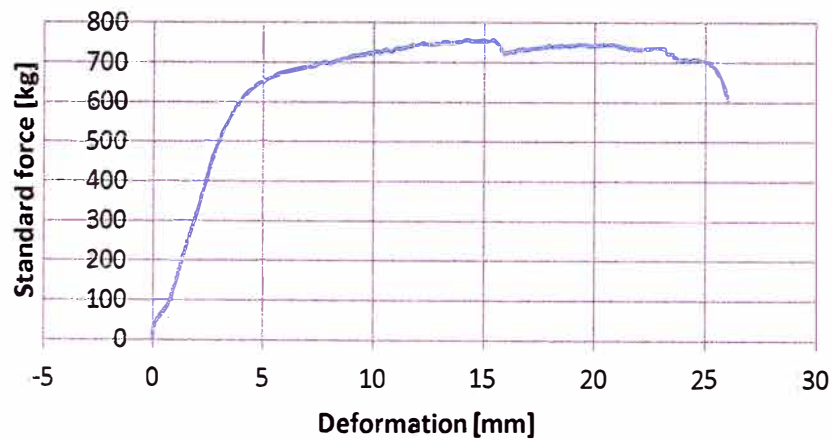
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.96867561 | 722.334004 |
| 11.6504917 | 740.949302 |
| 13.6364002 | 749.421361 |
| 15.4442015 | 755.650941 |
| 16.8166866 | 730.976696 |
| 18.5768299 | 740.569995 |
| 20.2124462 | 743.660163 |
| 22.6312084 | 733.591462 |
| 24.6138401 | 707.755149 |
| 26.0089436 | 605.682203 |

ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

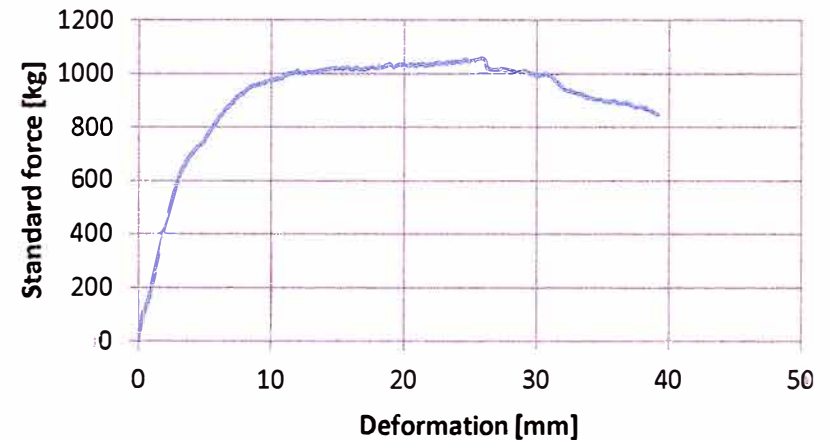
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.58839353 |
| 0.5698331 | 128.71648 |
| 1.87366283 | 405.202187 |
| 3.17749906 | 631.526881 |
| 4.72530079 | 737.904144 |
| 6.16233873 | 842.304413 |
| 7.92149067 | 928.896443 |
| 10.3381348 | 976.66955 |
| 12.8694658 | 1004.47564 |
| 15.5896893 | 1020.61942 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 18.0459824 | 1022.08895 |
| 20.3589115 | 1031.23054 |
| 22.9592152 | 1037.16113 |
| 25.4641705 | 1049.9499 |
| 27.8926067 | 1012.14114 |
| 30.3025227 | 994.034401 |
| 32.2738533 | 937.635132 |
| 34.7778168 | 903.399555 |
| 37.1887207 | 880.928853 |
| 39.1194229 | 846.63741 |

Specimen 4



Specimen 5



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

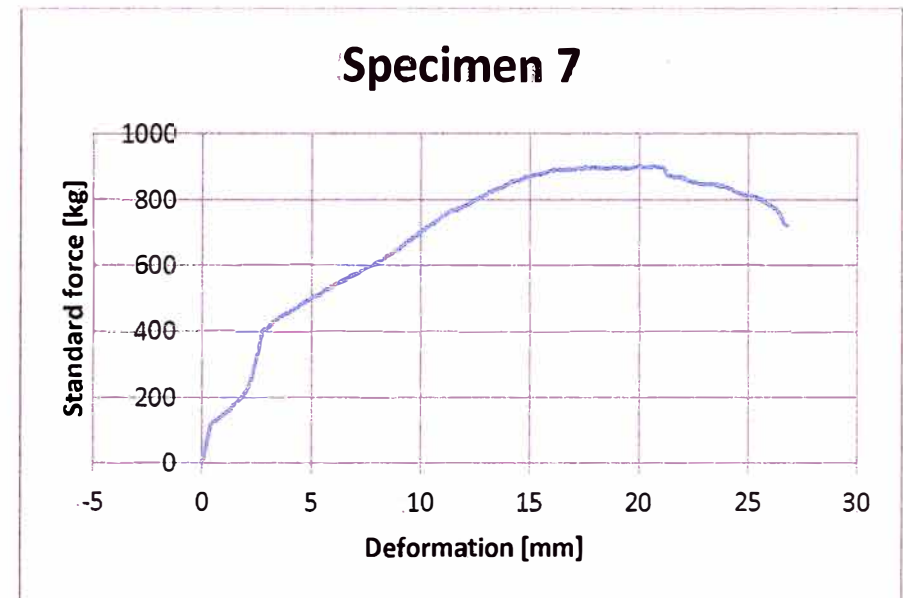
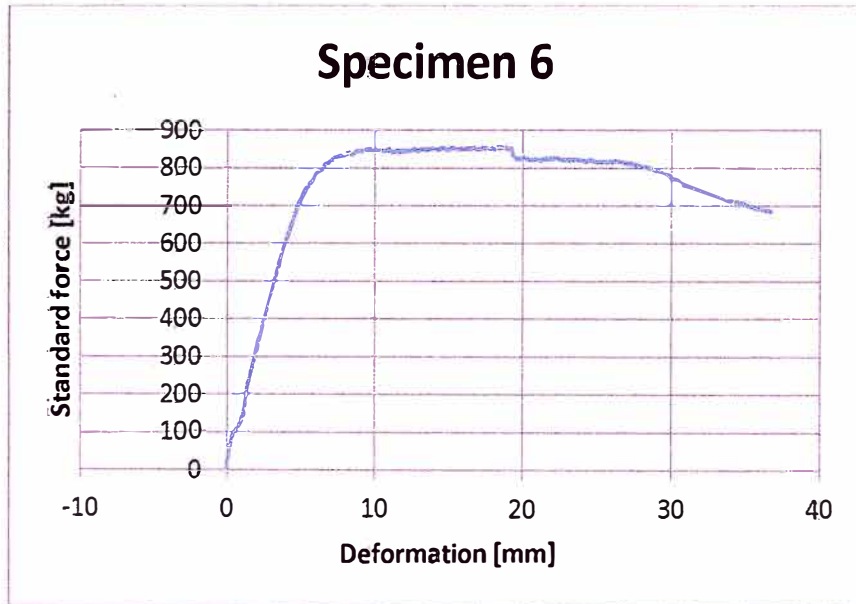
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.3122263 |
| 0.43712083 | 94.2184048 |
| 1.64215887 | 260.818537 |
| 2.82213378 | 443.523227 |
| 4.00293827 | 606.983885 |
| 5.21190405 | 733.055613 |
| 6.90880251 | 814.443057 |
| 9.30545235 | 844.684614 |
| 11.428153 | 844.587422 |
| 13.7084856 | 848.178436 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 15.929822 | 849.678634 |
| 18.2402973 | 852.292951 |
| 20.3631725 | 822.609102 |
| 22.6888847 | 821.883301 |
| 25.02672 | 814.185539 |
| 27.5496902 | 807.465022 |
| 29.7122097 | 781.040132 |
| 31.8614674 | 738.445769 |
| 34.3007202 | 709.892072 |
| 36.7026138 | 684.193032 |

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.69998208 |
| 0.25491944 | 73.1136276 |
| 1.15522611 | 158.778441 |
| 1.93609536 | 210.950356 |
| 2.63929677 | 362.218086 |
| 3.70670915 | 450.086505 |
| 4.84129143 | 495.690524 |
| 6.24589491 | 548.668665 |
| 7.42095757 | 589.028116 |
| 9.35623455 | 671.400225 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 10.7937727 | 738.280364 |
| 12.49246597 | 798.786629 |
| 14.2555418 | 855.791454 |
| 16.56683731 | 888.422672 |
| 18.4788456 | 893.545153 |
| 21.01395035 | 897.538178 |
| 23.4595871 | 845.31875 |
| 24.41755676 | 823.760117 |
| 25.92848969 | 784.731674 |
| 26.78176498 | 721.579225 |



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

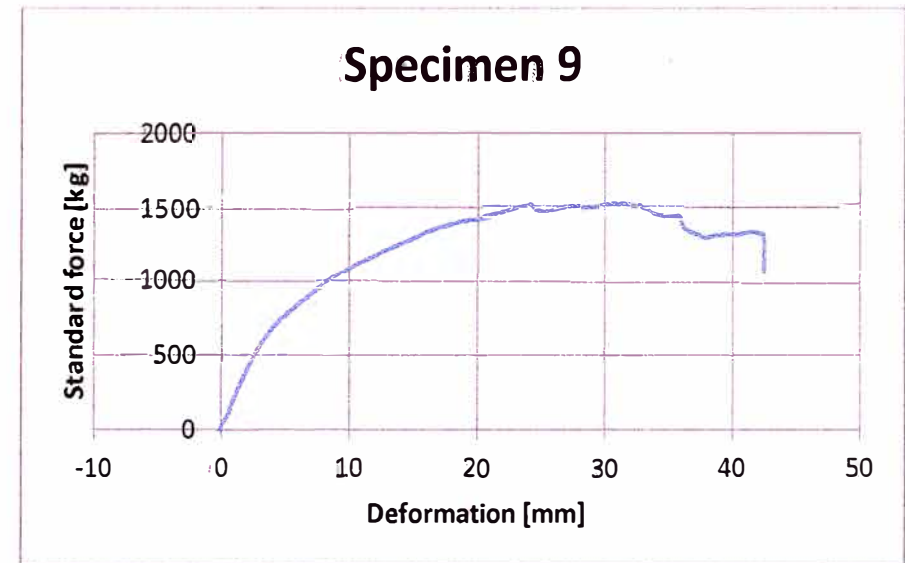
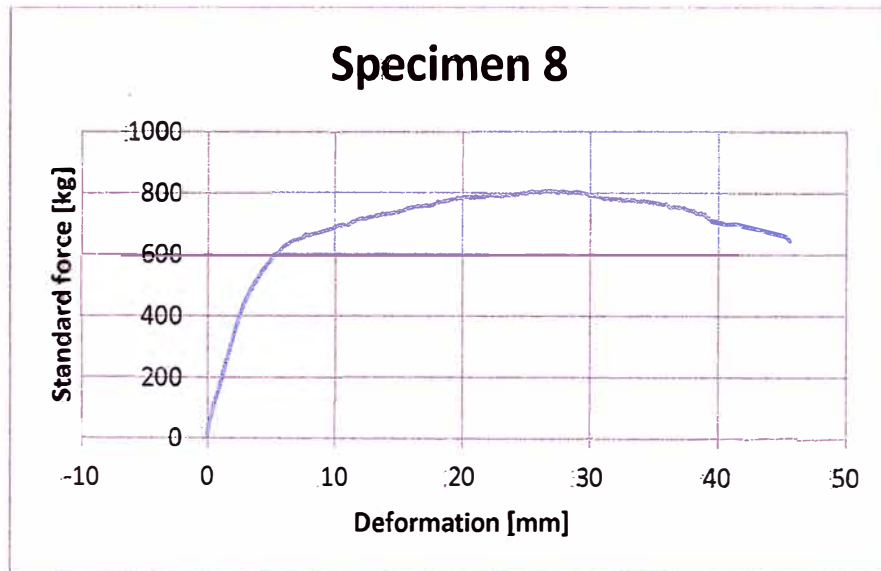
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 11.9456201 |
| 0.49167785 | 109.857468 |
| 1.79583955 | 303.301841 |
| 3.10279965 | 464.827578 |
| 4.61372566 | 563.764697 |
| 6.76527929 | 642.699844 |
| 9.59021187 | 679.040727 |
| 12.6192865 | 718.568722 |
| 15.5482435 | 744.590007 |
| 18.2791348 | 769.335652 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 21.2082653 | 785.328267 |
| 23.9339046 | 794.88965 |
| 26.7621098 | 806.790754 |
| 29.6193142 | 796.697605 |
| 32.3526688 | 776.679301 |
| 35.1261406 | 766.777947 |
| 37.9628716 | 741.806401 |
| 40.6631241 | 699.317047 |
| 43.2735786 | 680.767921 |
| 45.6251793 | 645.741964 |

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 2.36114207 |
| 0.65928775 | 128.440116 |
| 2.20002866 | 438.224735 |
| 3.73964119 | 659.23991 |
| 5.3549366 | 799.391488 |
| 7.1068821 | 924.970436 |
| 8.97530651 | 1041.70753 |
| 11.1366873 | 1144.79974 |
| 13.4437199 | 1235.79647 |
| 15.8364363 | 1331.11942 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 18.5776463 | 1404.92268 |
| 21.5474033 | 1449.66302 |
| 24.3367901 | 1503.46451 |
| 27.093235 | 1494.49977 |
| 30.0836372 | 1509.48342 |
| 33.0842018 | 1484.4226 |
| 35.8924217 | 1432.40443 |
| 38.0615044 | 1298.17542 |
| 41.2485085 | 1331.68405 |
| 42.4961624 | 1167.59508 |



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

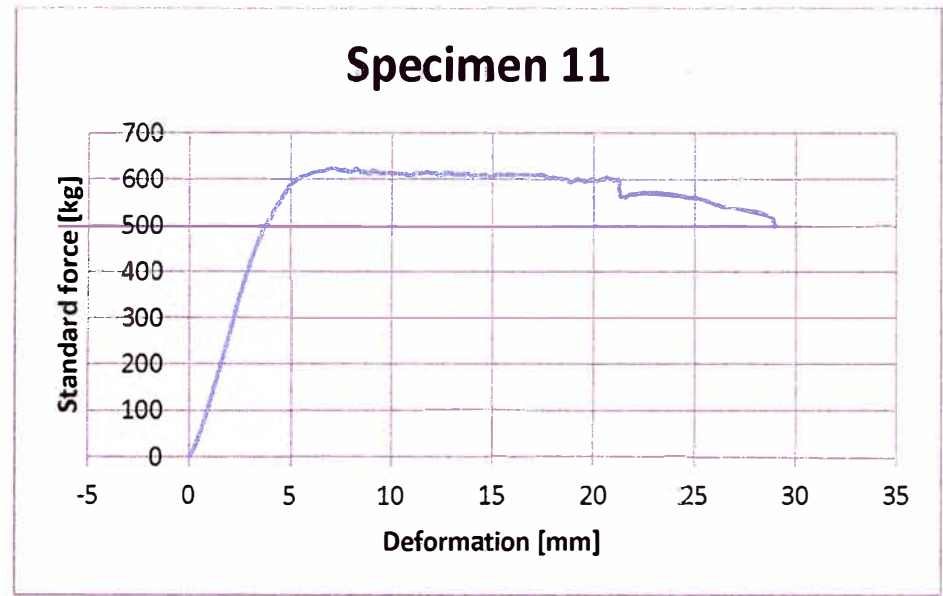
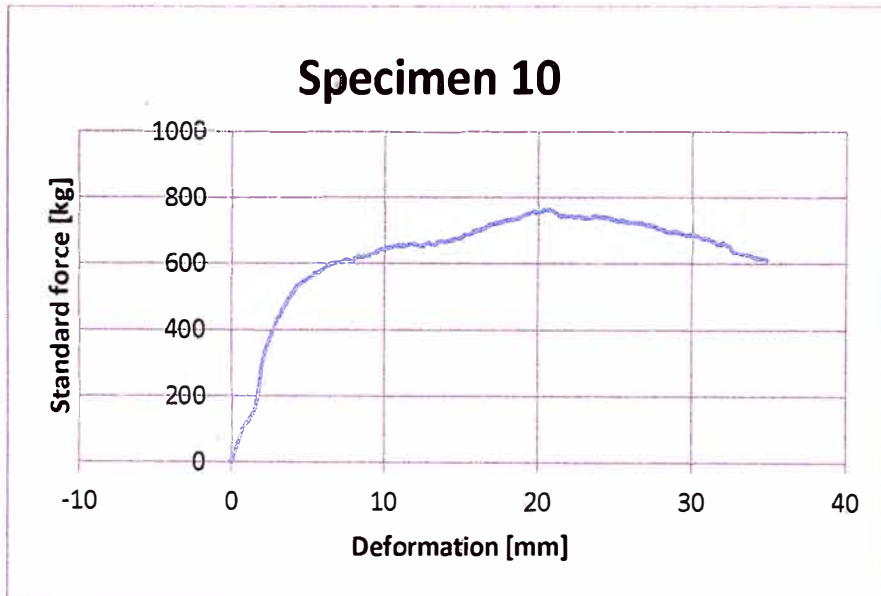
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.08721828 |
| 0.72596622 | 101.806459 |
| 1.67820954 | 193.367608 |
| 2.60275888 | 389.5241 |
| 3.27138376 | 459.769029 |
| 4.00097227 | 516.677957 |
| 5.47257137 | 571.456136 |
| 6.1908555 | 590.941379 |
| 8.02897072 | 614.397043 |
| 9.71439552 | 644.992911 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 11.5371113 | 658.532033 |
| 13.7871275 | 669.714855 |
| 15.7573032 | 696.269151 |
| 18.659071 | 738.653098 |
| 20.9644661 | 758.291996 |
| 23.2005558 | 736.733313 |
| 26.2160358 | 723.307315 |
| 28.5959778 | 695.696457 |
| 31.4929848 | 664.737365 |
| 34.8471184 | 610.13674 |

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.948799 |
| 0.5344435 | 51.6343518 |
| 1.27794325 | 157.082565 |
| 2.01195002 | 271.357637 |
| 2.71466231 | 383.302088 |
| 3.57530379 | 483.215581 |
| 4.36321449 | 546.488922 |
| 5.60266352 | 605.260823 |
| 7.16341257 | 621.349934 |
| 9.66885185 | 611.99105 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 11.2679281 | 613.61214 |
| 13.4304447 | 609.82734 |
| 15.819231 | 609.287259 |
| 18.3233738 | 601.259433 |
| 20.3836536 | 601.16981 |
| 22.8538704 | 571.825086 |
| 25.6588116 | 552.920254 |
| 26.7829151 | 538.259543 |
| 28.4539261 | 526.318009 |
| 28.9673996 | 498.828591 |



ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

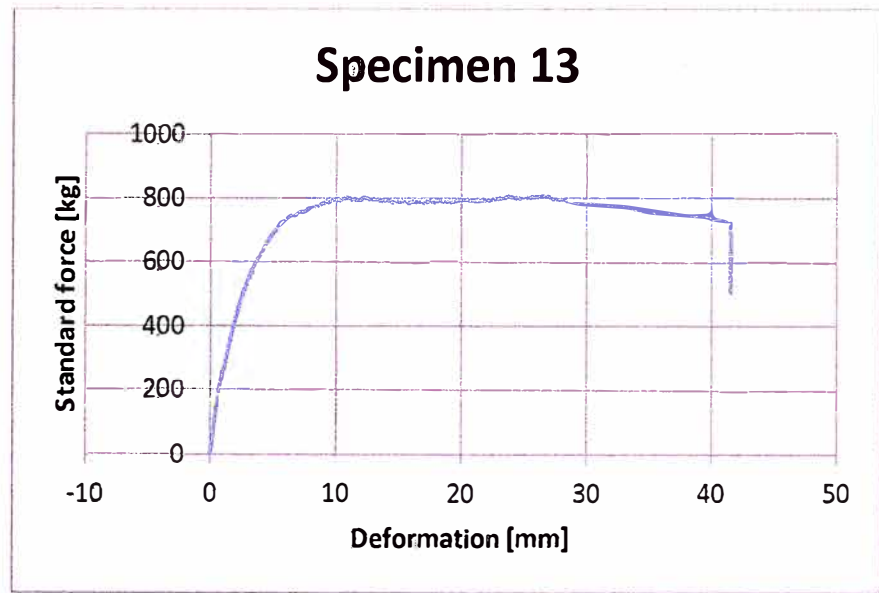
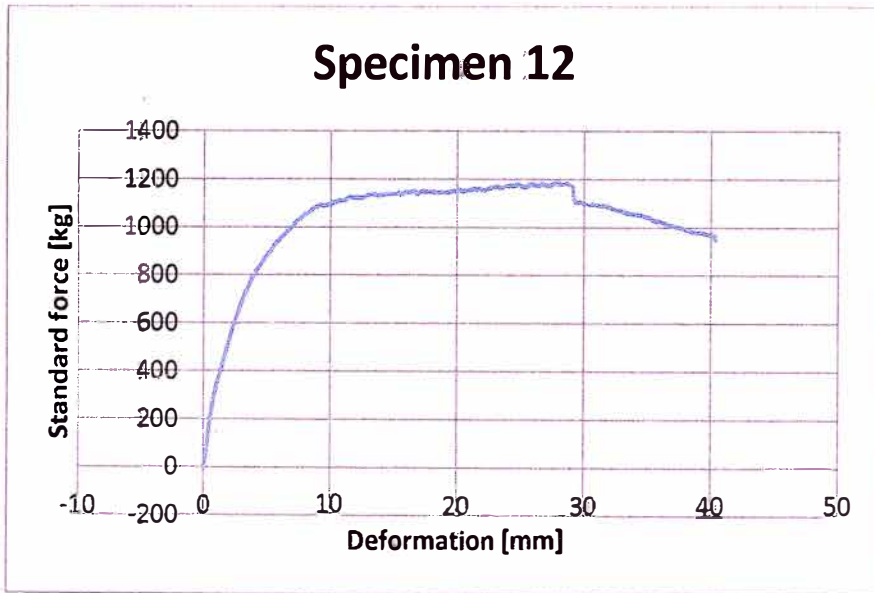
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.49791273 |
| 1.06020606 | 348.526479 |
| 2.36469555 | 589.858976 |
| 3.67132068 | 768.722926 |
| 5.06248379 | 885.653605 |
| 6.71005201 | 985.913815 |
| 8.63730526 | 1075.6838 |
| 11.0319967 | 1109.65319 |
| 13.4091558 | 1134.44086 |
| 15.791213 | 1140.71759 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 18.2850266 | 1144.09769 |
| 20.7154274 | 1152.94951 |
| 23.0591698 | 1167.91703 |
| 25.4856377 | 1169.99072 |
| 27.6252174 | 1183.36025 |
| 30.0030231 | 1098.67322 |
| 32.6410103 | 1069.98125 |
| 35.1798782 | 1038.39335 |
| 37.5124741 | 998.984904 |
| 40.3544426 | 948.588119 |

ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.36821977 |
| 0.65846139 | 188.838024 |
| 1.96164286 | 422.696569 |
| 3.27072549 | 573.815026 |
| 4.76266003 | 679.303921 |
| 6.87488127 | 750.710894 |
| 9.43144894 | 785.292866 |
| 11.8718433 | 794.829254 |
| 14.4002104 | 786.043413 |
| 16.997242 | 785.49422 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 19.5991936 | 790.843797 |
| 22.4116707 | 793.192231 |
| 25.0699711 | 801.00252 |
| 27.7387581 | 793.700347 |
| 30.3007202 | 782.12119 |
| 32.9801598 | 772.867066 |
| 35.9935112 | 750.041406 |
| 38.9252625 | 742.812275 |
| 41.5278664 | 707.520535 |
| 41.5439262 | 614.481338 |



ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

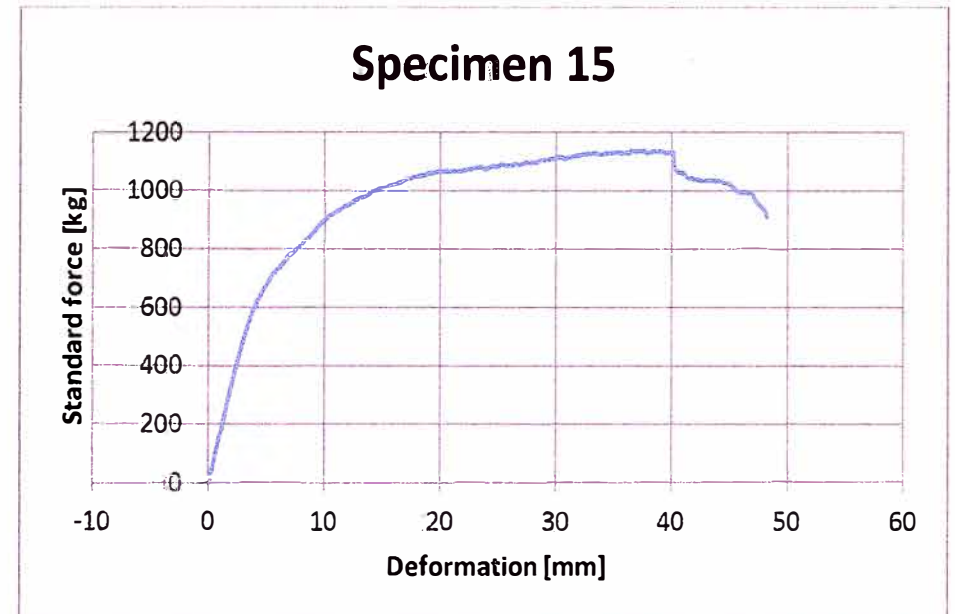
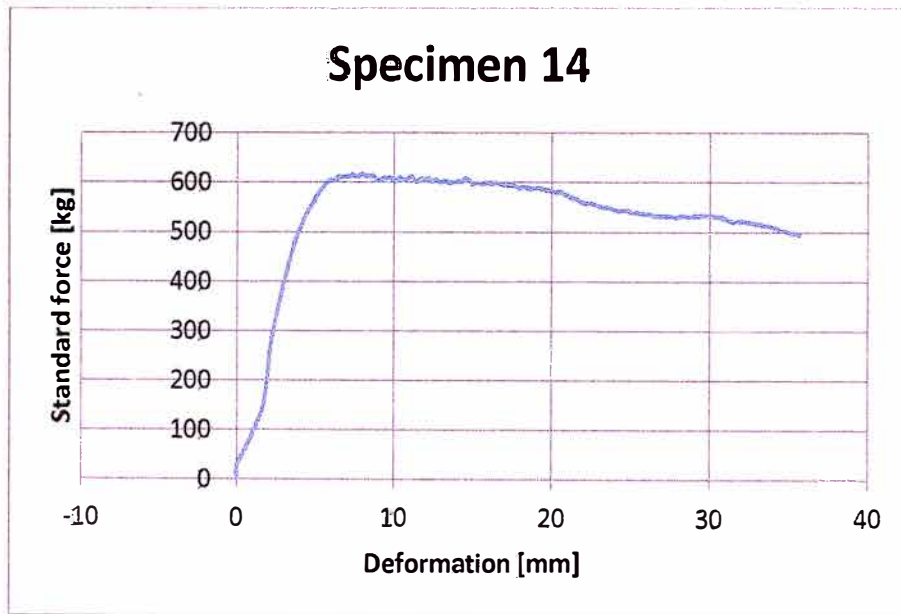
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 21.3390866 |
| 0.07519646 | 32.6350483 |
| 1.05692542 | 97.6436716 |
| 1.988199 | 213.966386 |
| 2.65551162 | 347.469544 |
| 3.32332373 | 436.571481 |
| 4.28752756 | 526.182678 |
| 4.79231882 | 556.302446 |
| 6.24950647 | 604.794931 |
| 8.24228859 | 611.887933 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.96424675 | 605.829186 |
| 12.183794 | 608.386094 |
| 13.9796419 | 601.873902 |
| 16.9212322 | 595.330241 |
| 19.5344753 | 585.931376 |
| 22.0392628 | 558.400681 |
| 25.1509037 | 538.293799 |
| 27.8891659 | 530.087623 |
| 31.0658607 | 526.182628 |
| 35.6787682 | 494.061965 |

ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.41607056 |
| 1.36887503 | 220.09611 |
| 2.90912914 | 471.039532 |
| 4.49493647 | 642.899306 |
| 6.44856977 | 754.416228 |
| 8.84800816 | 850.456168 |
| 11.2610464 | 935.224957 |
| 14.0969429 | 997.497951 |
| 16.9289188 | 1035.77625 |
| 19.7284584 | 1066.01671 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 22.7092037 | 1074.29533 |
| 25.5675488 | 1086.39759 |
| 28.2904053 | 1097.64484 |
| 31.4531746 | 1117.40552 |
| 34.6249619 | 1126.97492 |
| 37.5254173 | 1133.88141 |
| 40.4188271 | 1068.42927 |
| 42.9173851 | 1034.05707 |
| 45.6517143 | 997.870287 |
| 48.2115479 | 909.842189 |



ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

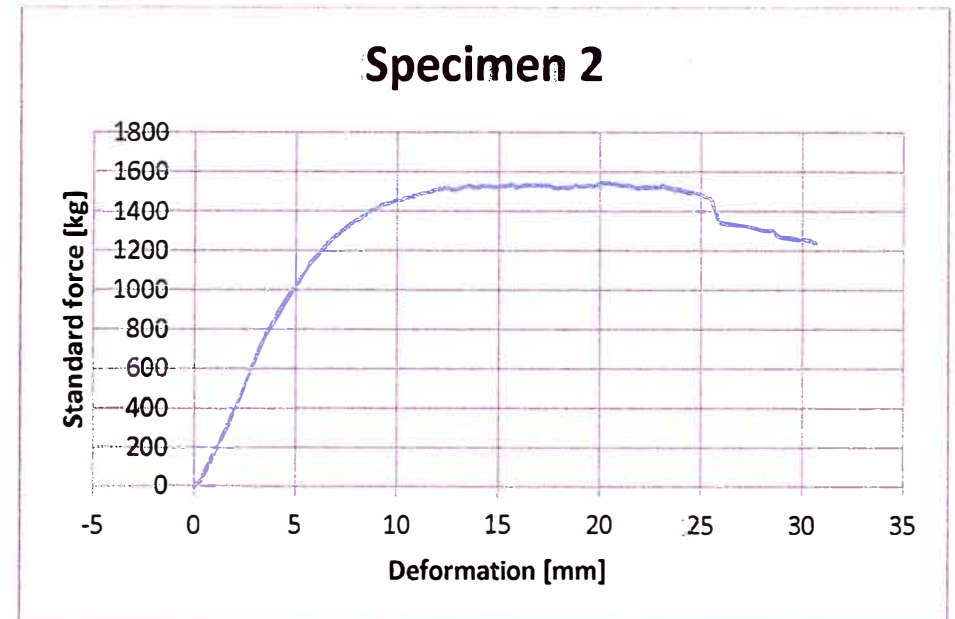
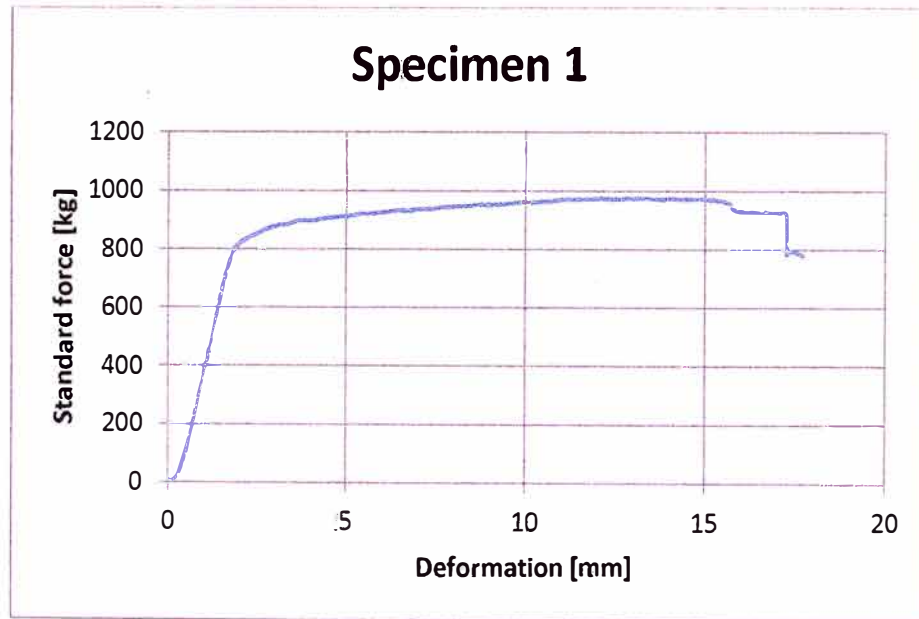
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 2.99199306 |
| 0.56425703 | 142.631112 |
| 1.07806623 | 416.125374 |
| 1.59120405 | 704.571224 |
| 2.11680889 | 828.308161 |
| 2.72612286 | 866.044681 |
| 3.61873078 | 894.373174 |
| 4.71481514 | 908.186843 |
| 5.77993631 | 921.878625 |
| 6.87504435 | 934.392853 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.03831387 | 945.471512 |
| 9.14799881 | 952.709207 |
| 10.1838026 | 959.938337 |
| 11.3185453 | 969.16886 |
| 12.5106583 | 971.025262 |
| 13.821703 | 969.822514 |
| 15.1859961 | 967.531041 |
| 16.0522099 | 929.722075 |
| 17.1984463 | 924.832117 |
| 17.7122402 | 778.816224 |

ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.10503342 |
| 1.16210985 | 208.159094 |
| 2.3430717 | 485.206816 |
| 3.52321696 | 767.203409 |
| 4.70383453 | 976.244237 |
| 5.8920145 | 1156.01015 |
| 7.14293003 | 1287.67533 |
| 8.5103426 | 1390.95286 |
| 10.1857615 | 1458.02639 |
| 12.1967402 | 1512.78007 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 14.1187496 | 1526.2221 |
| 16.0540199 | 1524.45512 |
| 18.1583767 | 1519.28275 |
| 20.1280727 | 1539.55977 |
| 22.0323849 | 1519.91301 |
| 23.9160519 | 1508.88324 |
| 25.6458721 | 1414.11914 |
| 27.3686409 | 1322.06516 |
| 29.1102619 | 1269.56899 |
| 30.6842709 | 1235.0283 |



ESPECIMEN 3 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

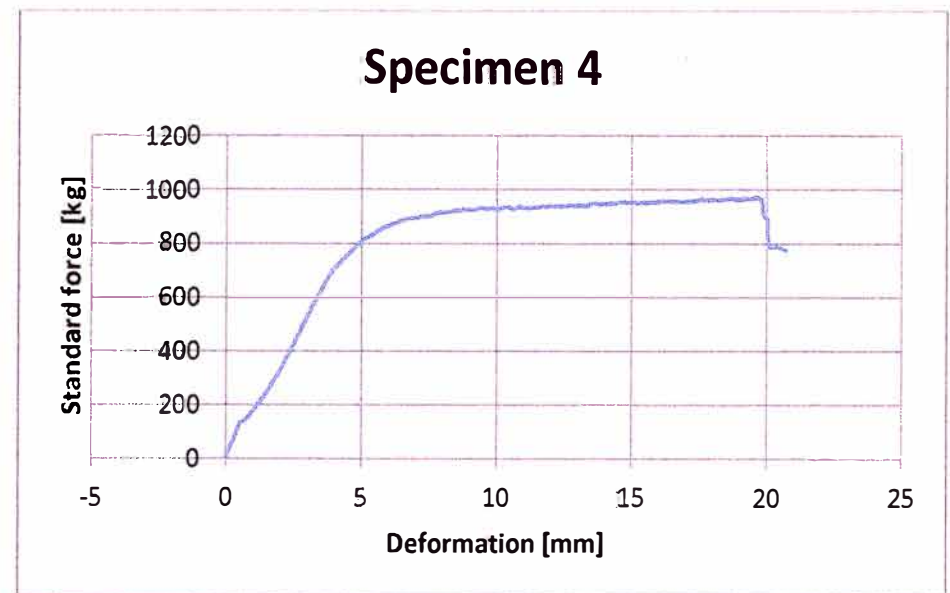
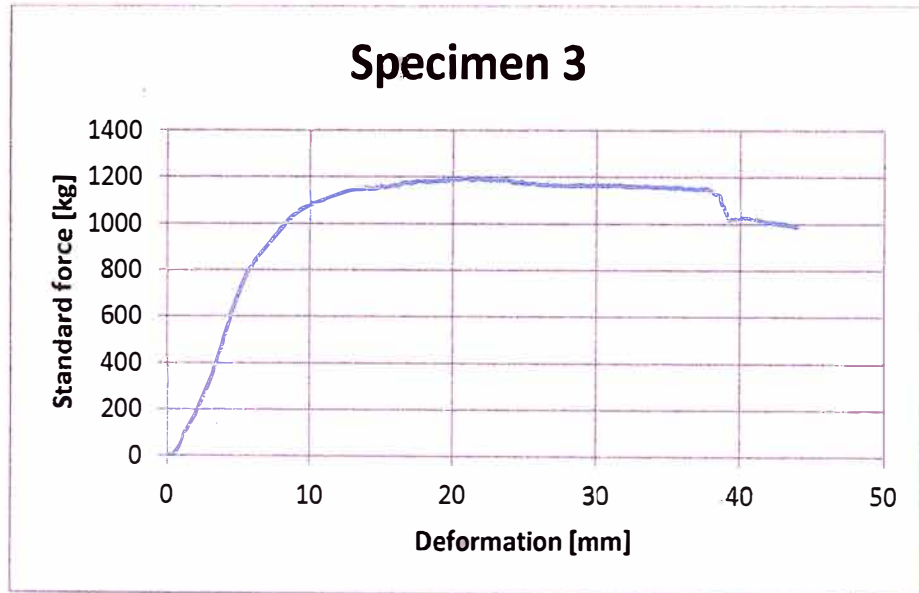
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.29432573 |
| 1.76176083 | 160.774393 |
| 3.19897079 | 361.105709 |
| 4.63716078 | 629.0943 |
| 6.11237621 | 838.472112 |
| 7.66213512 | 956.941627 |
| 9.46995163 | 1064.20591 |
| 12.0402641 | 1131.00499 |
| 14.8101425 | 1154.60445 |
| 17.5126839 | 1181.15083 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 20.2166977 | 1189.84113 |
| 22.9400558 | 1187.08998 |
| 25.7010803 | 1168.90308 |
| 28.5450211 | 1163.36764 |
| 31.4176254 | 1164.25561 |
| 34.1329498 | 1155.34843 |
| 36.8045158 | 1149.03834 |
| 39.081398 | 1028.73831 |
| 41.8298225 | 1007.74401 |
| 43.9263153 | 986.95783 |

ESPECIMEN 4 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 8.01288584 |
| 0.55475068 | 136.704659 |
| 1.22403669 | 207.375872 |
| 1.86629438 | 307.644249 |
| 2.50870848 | 427.832393 |
| 3.14931822 | 559.009324 |
| 3.79125476 | 676.494822 |
| 4.43808985 | 753.064954 |
| 5.10213089 | 816.257236 |
| 5.96442032 | 864.75719 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 7.00644684 | 895.184167 |
| 8.3002882 | 916.928918 |
| 9.55628204 | 927.701662 |
| 10.787384 | 935.147483 |
| 12.0612326 | 938.432084 |
| 13.2906876 | 939.415951 |
| 15.887393 | 954.252922 |
| 18.4986725 | 964.259783 |
| 19.2885475 | 965.776014 |
| 20.7010078 | 775.706886 |



ESPECIMEN 5 – ESPEJOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

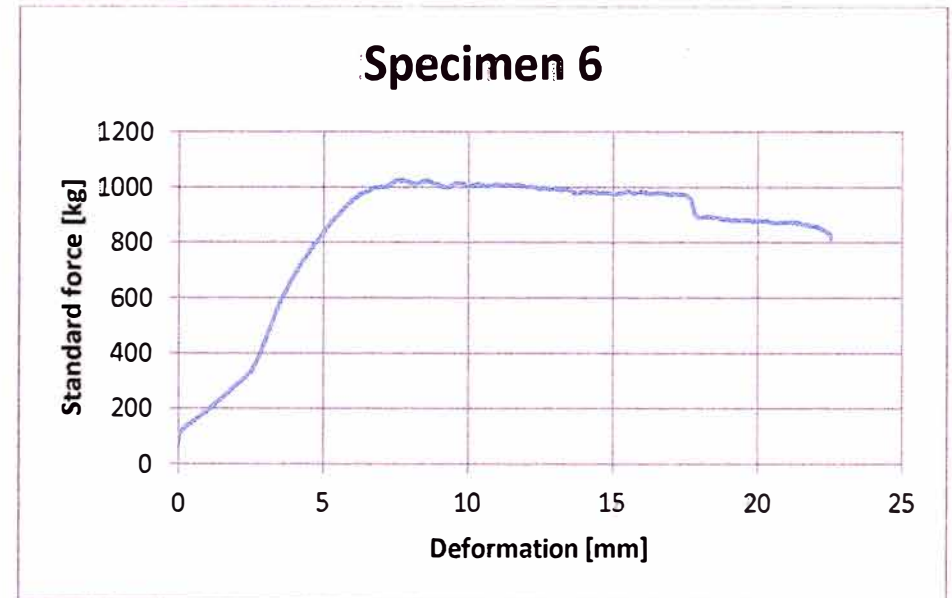
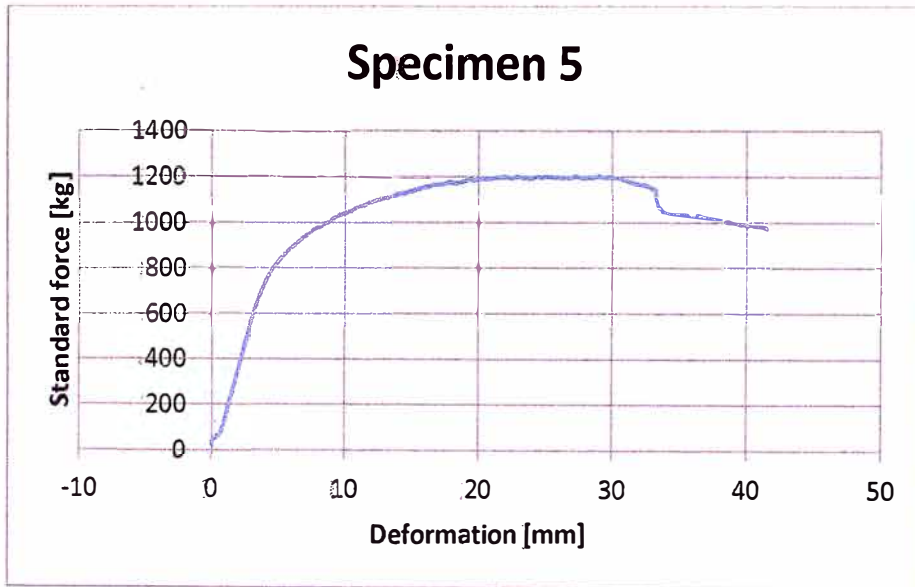
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 33.8340769 |
| 1.14245439 | 177.791642 |
| 2.379282 | 443.526413 |
| 3.6121769 | 685.380594 |
| 4.89929724 | 822.506135 |
| 6.48641682 | 913.341788 |
| 8.33011723 | 989.783161 |
| 10.5083599 | 1054.18551 |
| 12.8153868 | 1103.59634 |
| 15.0001965 | 1138.51823 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 17.3126392 | 1166.6852 |
| 19.6288433 | 1184.04936 |
| 21.9614315 | 1195.14335 |
| 24.7929096 | 1195.04745 |
| 27.0511284 | 1196.67641 |
| 29.2626324 | 1197.04685 |
| 31.3378353 | 1178.40128 |
| 33.4133606 | 1085.23746 |
| 35.5393486 | 1033.7169 |
| 41.5034561 | 969.070474 |

ESPECIMEN 6 – ESPEJOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 74.3929967 |
| 0.55246776 | 155.751681 |
| 1.30170488 | 220.379768 |
| 2.03881979 | 287.64845 |
| 2.74168849 | 381.491345 |
| 3.59546351 | 604.24997 |
| 4.34322453 | 740.662357 |
| 5.2315731 | 868.14675 |
| 5.98343468 | 952.165292 |
| 7.73209143 | 1020.934 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.75871372 | 1016.81072 |
| 9.94639397 | 1001.62581 |
| 11.4378271 | 1005.85345 |
| 13.0834322 | 990.83056 |
| 14.4257708 | 979.978251 |
| 15.7704067 | 977.419799 |
| 17.0414829 | 972.659895 |
| 18.6671047 | 886.576129 |
| 20.552412 | 870.003649 |
| 22.5230732 | 812.356772 |



ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

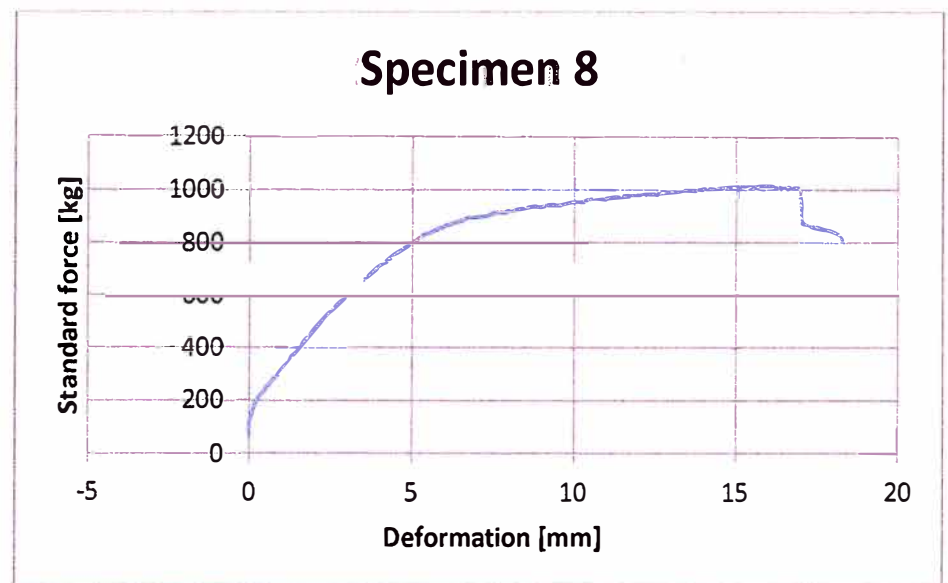
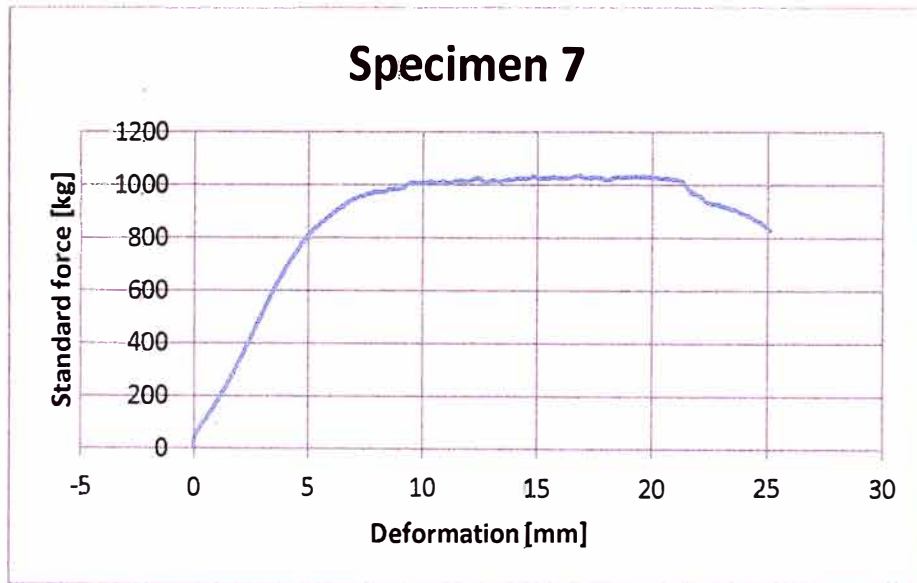
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 8.00225006 |
| 0.53722799 | 114.458477 |
| 1.28187978 | 216.904119 |
| 2.01686835 | 336.399524 |
| 2.71924567 | 461.913819 |
| 3.57154059 | 613.837194 |
| 4.32078552 | 724.997415 |
| 5.21649075 | 830.123186 |
| 6.05616665 | 891.250393 |
| 8.09384537 | 970.605027 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.89740181 | 1003.77379 |
| 11.9213104 | 1010.87495 |
| 13.6255875 | 1018.58068 |
| 15.8252945 | 1028.16592 |
| 17.72896 | 1024.21193 |
| 19.9463654 | 1028.09252 |
| 22.0004272 | 959.615494 |
| 22.7598267 | 925.937175 |
| 24.1562271 | 885.021659 |
| 25.1165047 | 828.453052 |

ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 89.6776615 |
| 0.44990104 | 237.863047 |
| 1.09181535 | 335.838655 |
| 1.73260427 | 434.459852 |
| 2.37518239 | 525.619294 |
| 3.01939797 | 604.052649 |
| 3.66362405 | 675.264889 |
| 4.30930758 | 742.170123 |
| 4.97941256 | 798.141788 |
| 5.73488235 | 847.45637 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 6.63567305 | 889.654895 |
| 7.8285985 | 912.472539 |
| 9.06607437 | 936.638121 |
| 10.2729225 | 952.895624 |
| 11.4428978 | 969.791246 |
| 12.6518736 | 987.478044 |
| 14.0071602 | 1002.16285 |
| 15.4165106 | 1010.89308 |
| 16.5835457 | 1007.51198 |
| 18.2827377 | 811.214371 |



ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

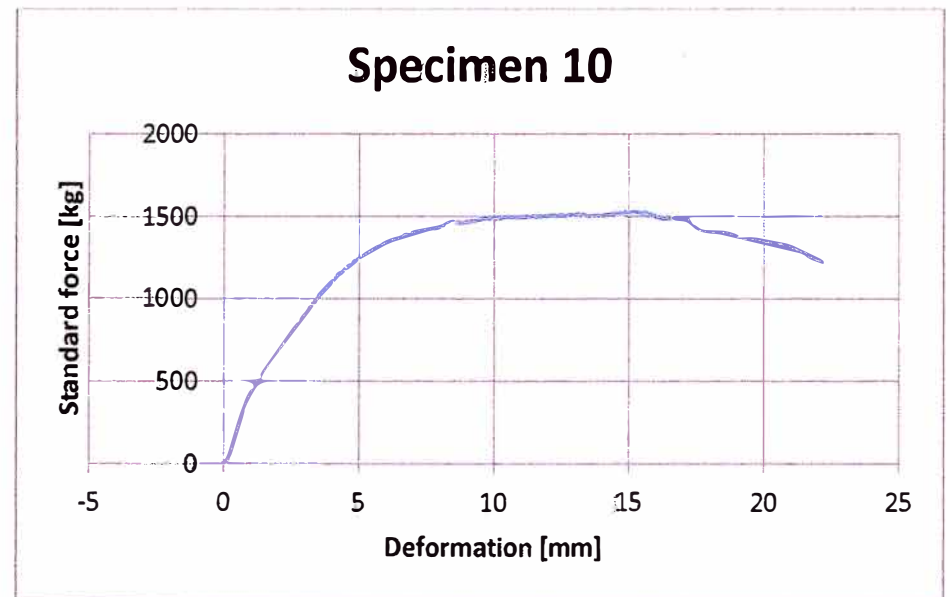
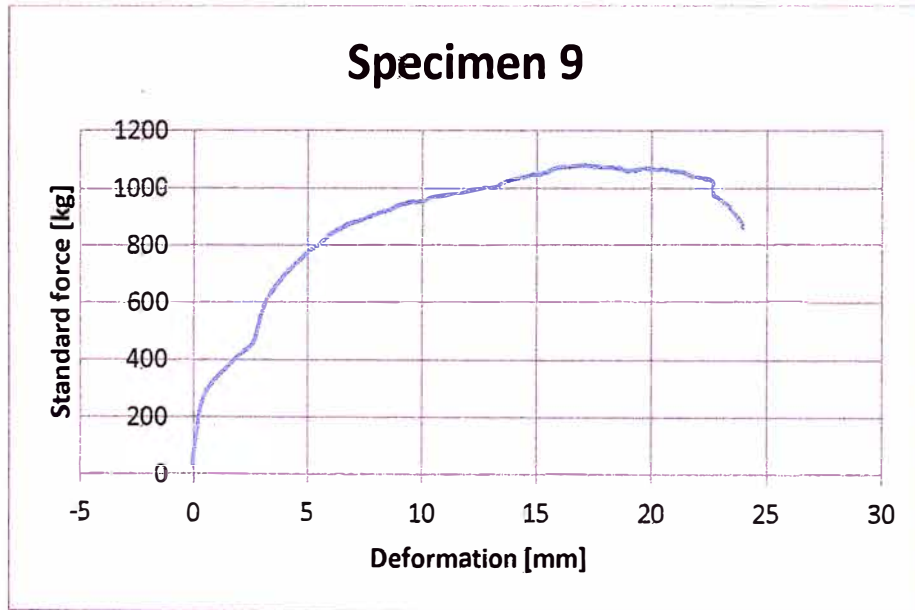
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 58.7457427 |
| 0.0044251 | 39.4854295 |
| 0.56983411 | 290.702471 |
| 1.30842459 | 361.163915 |
| 2.02947855 | 415.554821 |
| 2.93535256 | 545.270939 |
| 3.68558145 | 664.330773 |
| 4.5988121 | 743.467871 |
| 5.49748564 | 802.432364 |
| 7.20420361 | 882.964203 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.25605774 | 915.536966 |
| 9.82236385 | 949.360176 |
| 11.4032602 | 980.061202 |
| 13.1124382 | 1002.75736 |
| 14.5530891 | 1040.3092 |
| 15.8587189 | 1071.12156 |
| 17.4709053 | 1076.05215 |
| 19.3858643 | 1063.57795 |
| 21.9055634 | 1038.60536 |
| 23.9529114 | 861.811564 |

ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.81751727 |
| 0.65207529 | 287.415479 |
| 1.39574957 | 536.990474 |
| 2.12990689 | 711.74444 |
| 2.8329556 | 870.93653 |
| 3.68590665 | 1052.26856 |
| 4.43480778 | 1174.84403 |
| 5.32840014 | 1282.93036 |
| 6.13448811 | 1352.7396 |
| 7.89740467 | 1430.6007 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.78033447 | 1462.39125 |
| 10.3074989 | 1492.16368 |
| 12.0969543 | 1505.16347 |
| 13.7412539 | 1503.42826 |
| 15.2438364 | 1527.06018 |
| 16.5242329 | 1487.0405 |
| 17.5944462 | 1415.83693 |
| 19.2370949 | 1361.12387 |
| 20.9103966 | 1316.56974 |
| 22.1678772 | 1221.78075 |



ESPECIMEN 11 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

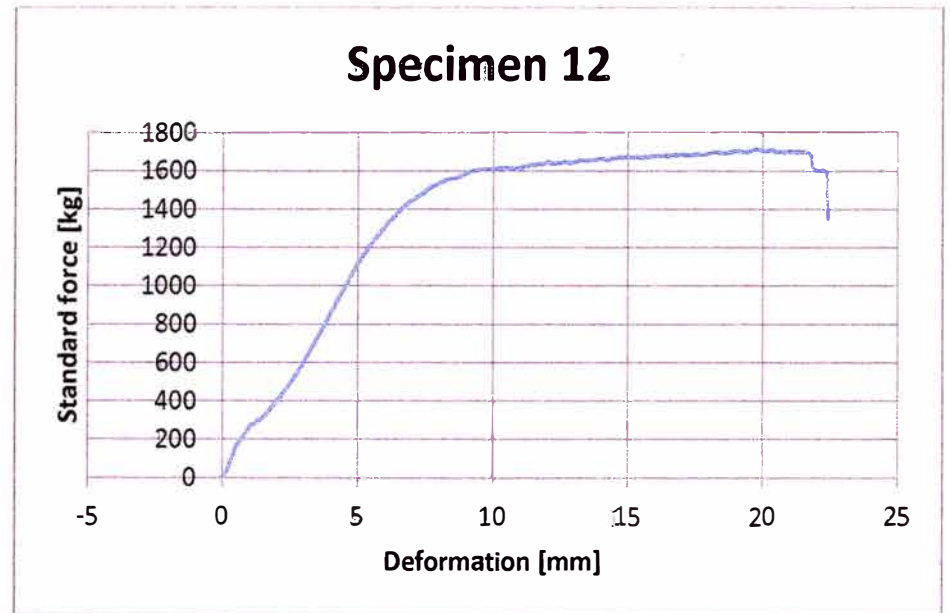
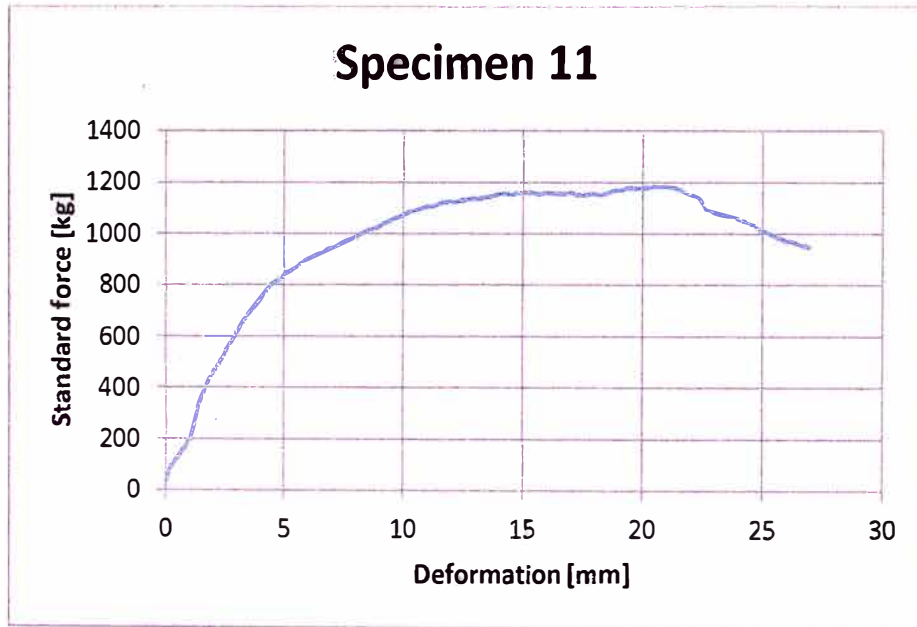
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 18.1324886 |
| 0.74595648 | 156.880103 |
| 1.66920376 | 400.337872 |
| 2.59226894 | 555.302895 |
| 3.26090097 | 657.935539 |
| 3.93248606 | 741.025282 |
| 4.9673028 | 836.032063 |
| 5.4753623 | 868.565192 |
| 6.65566492 | 927.836297 |
| 8.01618862 | 989.915903 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.32330227 | 1045.05606 |
| 11.3192091 | 1109.43371 |
| 13.1132622 | 1135.03646 |
| 15.8880444 | 1156.45797 |
| 18.3399181 | 1152.52907 |
| 20.0672798 | 1177.32461 |
| 21.8793468 | 1154.14289 |
| 24.2045689 | 1046.96086 |
| 25.7500725 | 979.919298 |
| 26.9403667 | 946.781708 |

ESPECIMEN 12 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 6.90300544 |
| 0.64503741 | 191.009265 |
| 1.415084 | 305.413943 |
| 2.14892507 | 424.649066 |
| 2.85162997 | 568.107254 |
| 3.70425797 | 779.392354 |
| 4.45381546 | 979.572157 |
| 5.34133482 | 1188.27092 |
| 6.07337523 | 1321.67689 |
| 7.46502972 | 1488.27741 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.82244873 | 1573.89244 |
| 10.4831352 | 1614.14743 |
| 12.1593742 | 1637.86997 |
| 14.1225138 | 1657.88688 |
| 15.644249 | 1670.77932 |
| 17.6979828 | 1683.10076 |
| 19.7302628 | 1709.57315 |
| 20.5619183 | 1696.43753 |
| 21.8051338 | 1681.49232 |
| 22.4154396 | 1350.75553 |



ESPECIMEN 13 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

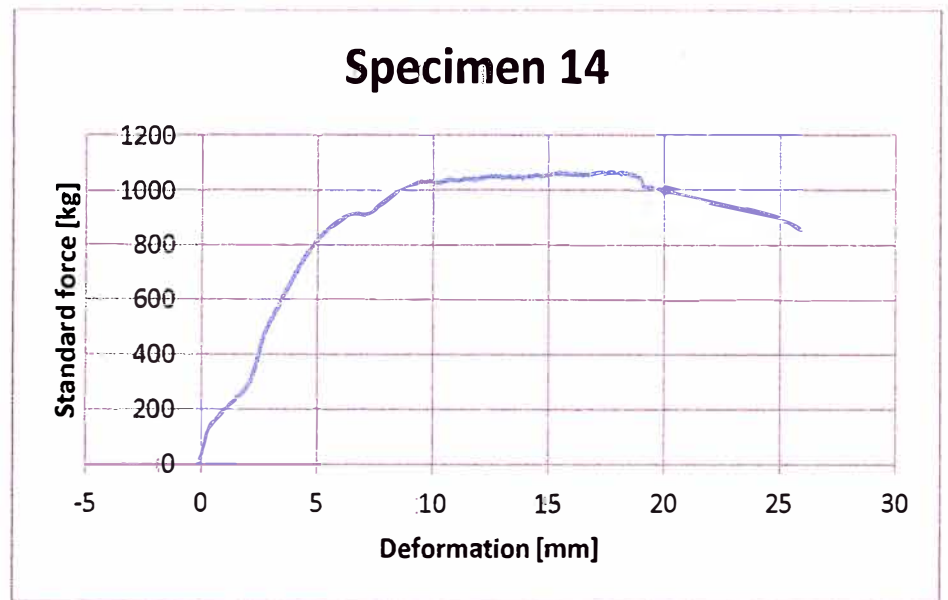
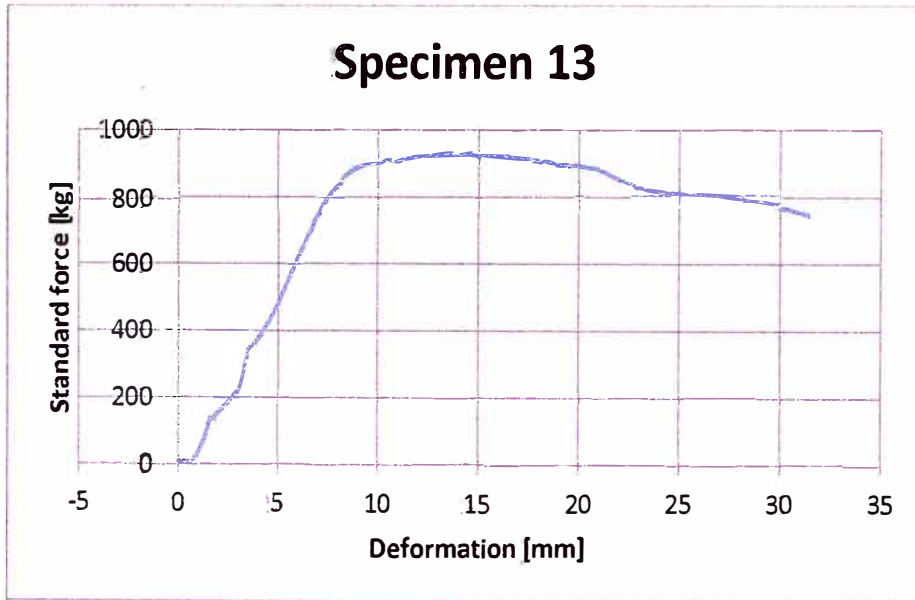
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.98236714 |
| 1.35019493 | 86.8126099 |
| 2.35338402 | 178.163492 |
| 3.33691978 | 299.465806 |
| 4.08861828 | 385.879287 |
| 4.77151012 | 453.567033 |
| 5.69523144 | 578.266525 |
| 6.10515881 | 634.253725 |
| 7.03495789 | 754.136353 |
| 8.07730675 | 842.535044 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.4758482 | 897.28783 |
| 11.6708012 | 919.267295 |
| 13.5313816 | 930.207834 |
| 16.1541271 | 923.583363 |
| 18.5062103 | 903.485195 |
| 20.8284798 | 885.120942 |
| 23.2669048 | 817.982936 |
| 25.5359268 | 800.538669 |
| 28.3892136 | 785.514435 |
| 31.4317207 | 745.124362 |

ESPECIMEN 14 – ESPELOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 20.279323 |
| 0.54689664 | 156.594291 |
| 1.29137301 | 222.055305 |
| 2.03144741 | 289.951326 |
| 2.73431301 | 475.455232 |
| 3.58677983 | 621.506078 |
| 4.33552933 | 736.281262 |
| 5.23337173 | 839.776134 |
| 6.06288433 | 899.315113 |
| 8.01848888 | 968.8738 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.46356106 | 1030.41347 |
| 11.5531683 | 1038.94254 |
| 13.6504889 | 1047.25293 |
| 15.9624319 | 1056.58772 |
| 18.0242004 | 1062.20432 |
| 20.2003174 | 993.976246 |
| 22.6259727 | 944.185315 |
| 23.5821342 | 932.202754 |
| 24.982151 | 892.045652 |
| 25.8976936 | 852.138899 |



ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 2CM Y 3 PERNOS

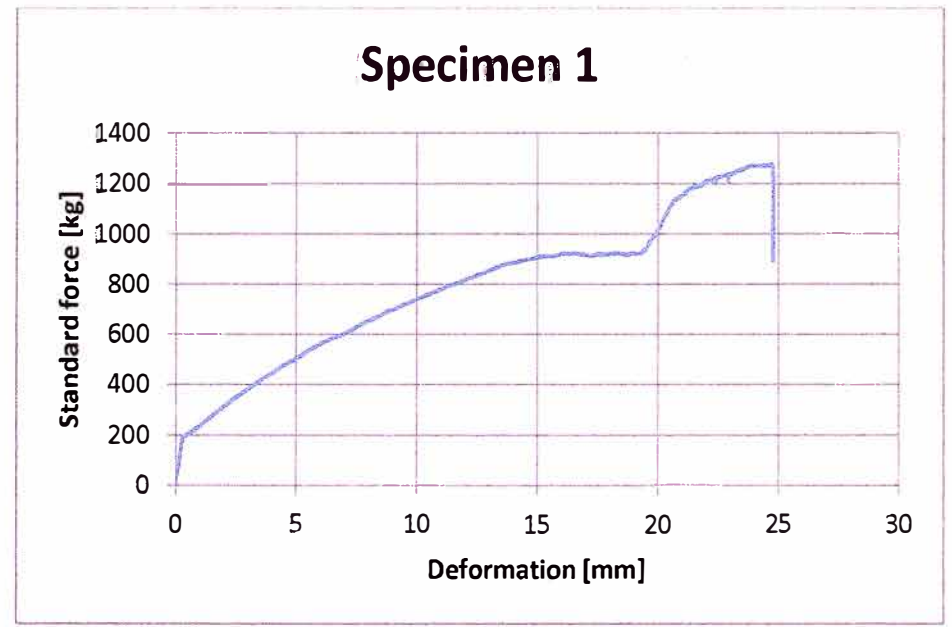
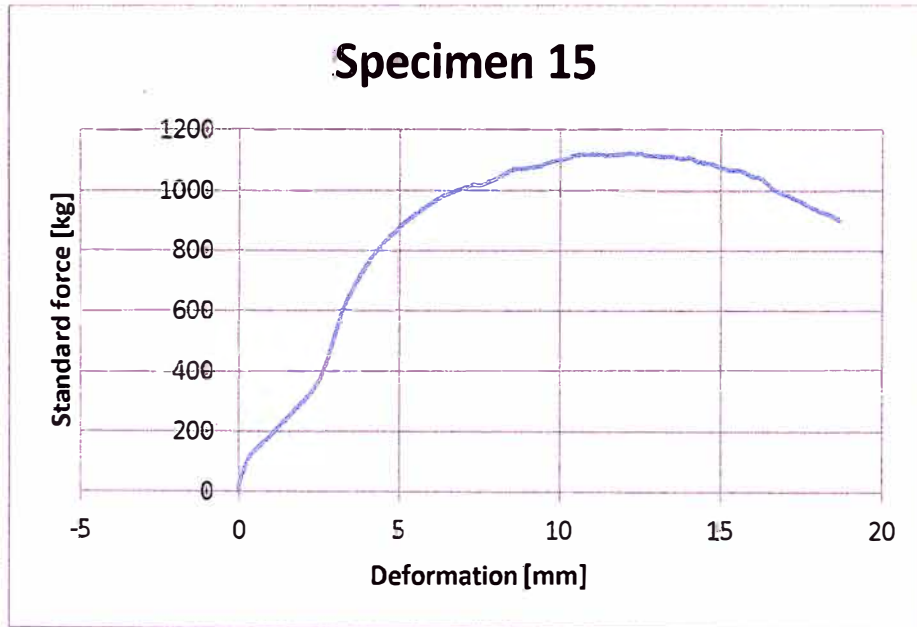
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 17.7754075 |
| 0.43269244 | 130.303189 |
| 1.07429397 | 196.55447 |
| 1.71638107 | 266.098083 |
| 2.35732651 | 344.612248 |
| 2.99891686 | 519.054523 |
| 3.64035058 | 692.809385 |
| 4.28277254 | 796.256359 |
| 4.92649508 | 870.431552 |
| 5.60201311 | 929.445238 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 6.41351414 | 982.536105 |
| 7.40359592 | 1016.80395 |
| 8.33732224 | 1057.41195 |
| 9.44340897 | 1083.63539 |
| 10.501812 | 1114.87675 |
| 11.8433237 | 1118.74141 |
| 14.1818237 | 1099.94259 |
| 16.4328232 | 1022.40362 |
| 17.1130867 | 982.618957 |
| 18.6970787 | 896.551822 |

ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 11.9983485 |
| 0.01409024 | 23.4332251 |
| 0.73170316 | 217.826918 |
| 1.65789151 | 287.401861 |
| 2.55098844 | 353.338464 |
| 3.65771914 | 426.690042 |
| 4.68975019 | 487.67903 |
| 5.92018843 | 558.231442 |
| 7.07558393 | 607.328537 |
| 9.09574032 | 701.779353 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.7687063 | 770.264052 |
| 12.6428728 | 840.292266 |
| 14.8366899 | 901.557095 |
| 17.8374233 | 917.048615 |
| 19.8020248 | 987.995072 |
| 21.5048103 | 1187.57017 |
| 23.5501862 | 1257.46106 |
| 24.573698 | 1270.75132 |
| 24.7752285 | 932.626772 |
| 24.786047 | 911.685147 |



ESPECIMEN 2 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

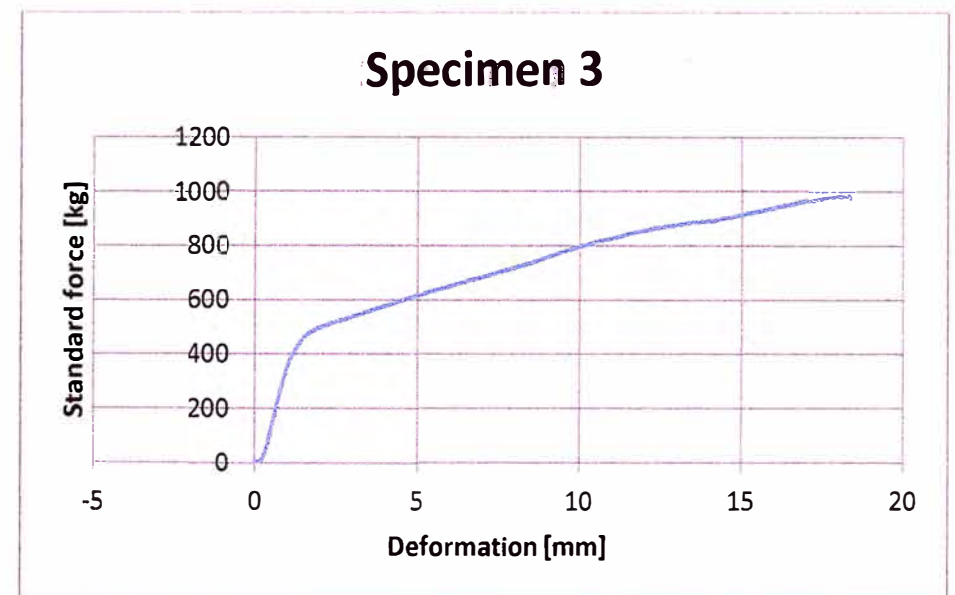
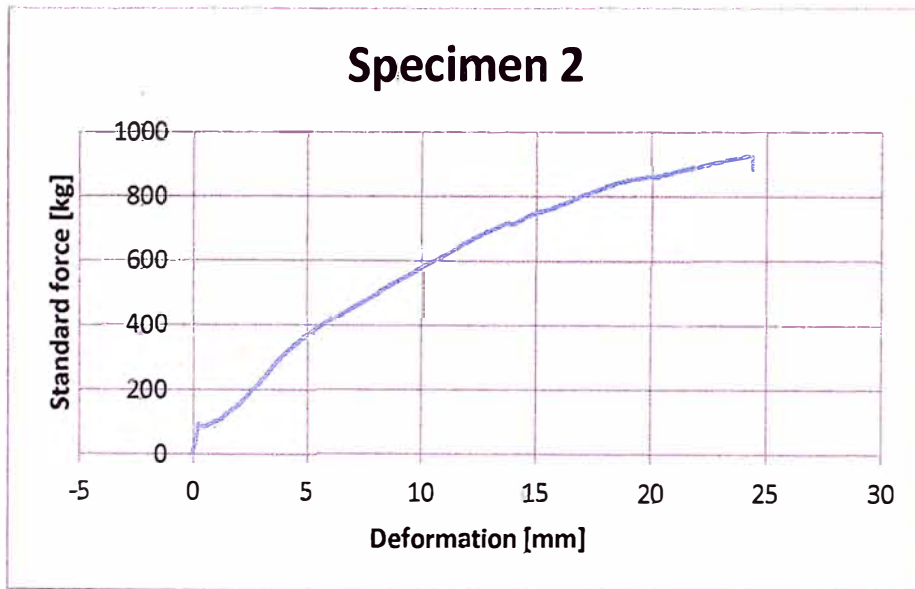
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 9.3081414 |
| 0.01294371 | 7.82286147 |
| 1.02546442 | 101.81315 |
| 1.91822565 | 149.19927 |
| 2.72809911 | 209.44625 |
| 3.53730321 | 276.205796 |
| 4.36584425 | 334.388323 |
| 5.30775404 | 383.186773 |
| 6.36583567 | 430.791014 |
| 7.45389414 | 476.402552 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.55408192 | 523.885827 |
| 9.69309425 | 568.08455 |
| 10.8832293 | 613.316482 |
| 12.0758257 | 662.115529 |
| 13.3827715 | 706.968354 |
| 14.7908134 | 744.656578 |
| 17.7040558 | 820.177567 |
| 21.4853115 | 884.024449 |
| 22.8117695 | 907.164638 |
| 24.3813457 | 887.266828 |

ESPECIMEN 3 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.63795502 |
| 0.46316499 | 106.404773 |
| 1.11000299 | 388.677457 |
| 1.76405573 | 485.230665 |
| 2.5739212 | 521.007369 |
| 3.4575119 | 555.887539 |
| 4.32160044 | 589.775228 |
| 5.19615793 | 622.808058 |
| 6.16643476 | 655.735581 |
| 7.11113691 | 687.452739 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.09877396 | 721.768131 |
| 9.1049099 | 761.110655 |
| 10.0501003 | 797.669522 |
| 11.1476622 | 829.71749 |
| 12.2191801 | 860.35339 |
| 13.4558439 | 884.825284 |
| 14.7852383 | 906.988776 |
| 15.8597088 | 934.02709 |
| 16.9156475 | 962.985735 |
| 18.387598 | 976.273614 |



ESPECIMEN 4 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

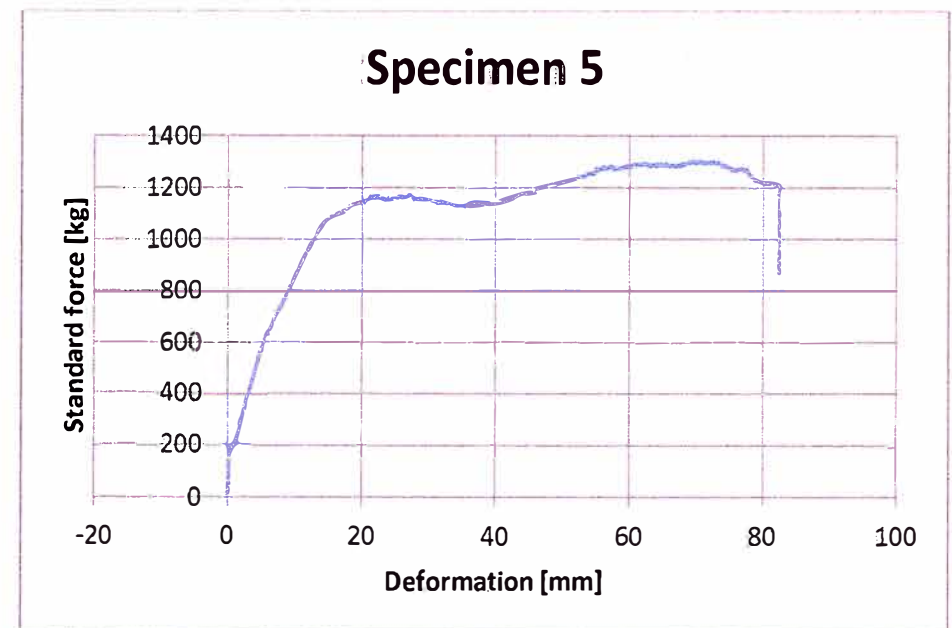
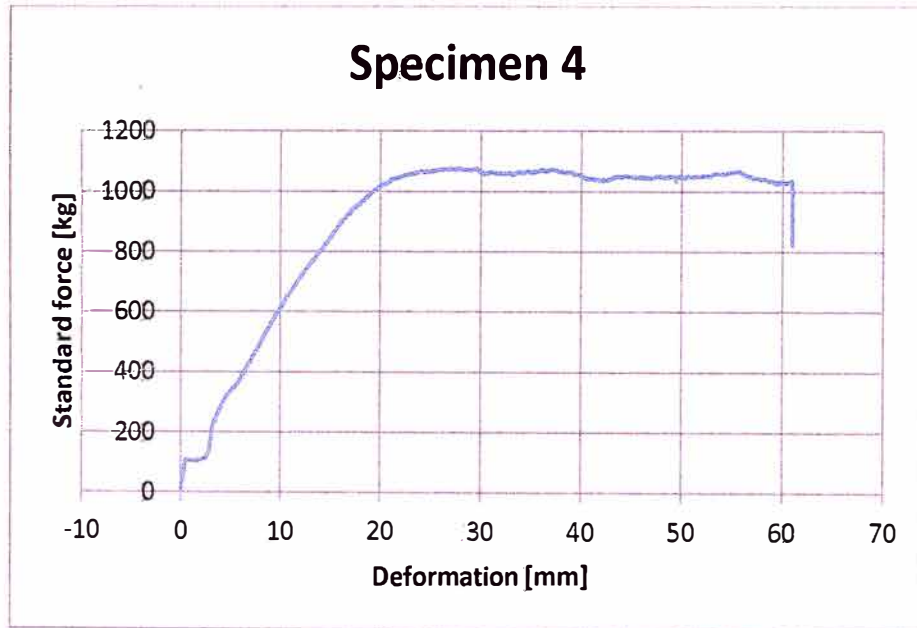
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.13812821 |
| 2.7801919 | 130.812736 |
| 4.82524061 | 327.330896 |
| 7.05559349 | 439.999729 |
| 9.15897179 | 565.489053 |
| 11.4143963 | 683.645184 |
| 13.9113235 | 798.218516 |
| 16.3807144 | 906.796584 |
| 19.3707924 | 1002.66743 |
| 23.3067188 | 1057.03354 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 27.4923382 | 1073.36444 |
| 31.4182739 | 1060.28528 |
| 35.2732697 | 1063.22215 |
| 39.1896973 | 1058.6639 |
| 43.0410843 | 1042.84087 |
| 46.9665222 | 1043.07508 |
| 50.6085281 | 1049.79595 |
| 54.7613907 | 1062.13292 |
| 58.6227608 | 1035.74069 |
| 61.0053329 | 912.370369 |

ESPECIMEN 5 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 10.5842065 |
| 1.45276403 | 239.157808 |
| 3.79322124 | 465.447424 |
| 6.20248365 | 647.813561 |
| 8.87537003 | 793.668281 |
| 11.5256453 | 943.178445 |
| 14.7891712 | 1075.15571 |
| 18.944643 | 1135.27476 |
| 23.087677 | 1156.09977 |
| 27.4086285 | 1168.44461 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 34.61332703 | 1144.74726 |
| 36.50665665 | 1136.68015 |
| 48.96489334 | 1145.07001 |
| 55.99133682 | 1178.00644 |
| 62.60374832 | 1287.72104 |
| 65.97590637 | 1284.24394 |
| 73.88413239 | 1286.60861 |
| 78.35942841 | 1239.28641 |
| 81.7712326 | 1211.69283 |
| 82.4868927 | 927.146395 |



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

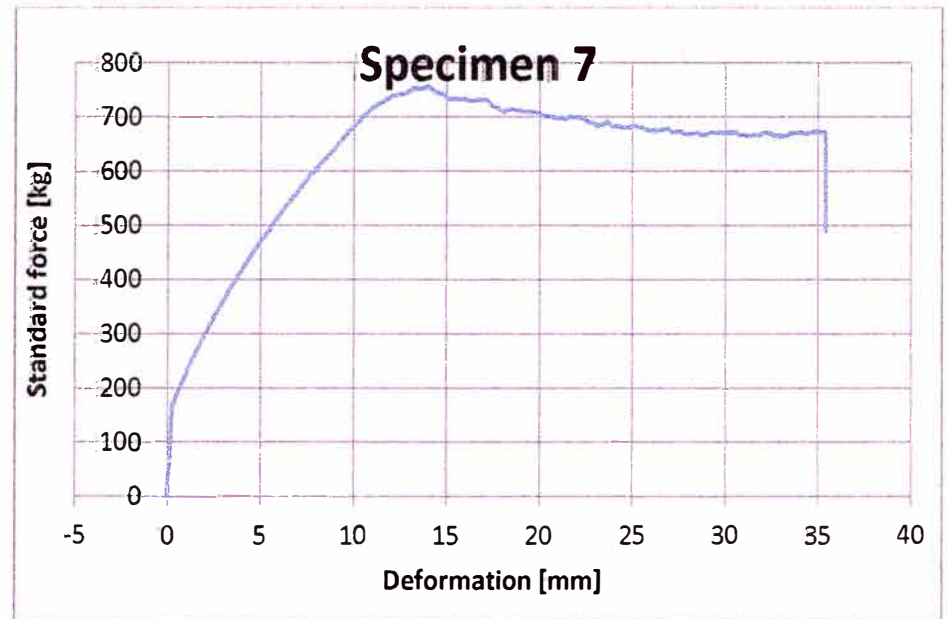
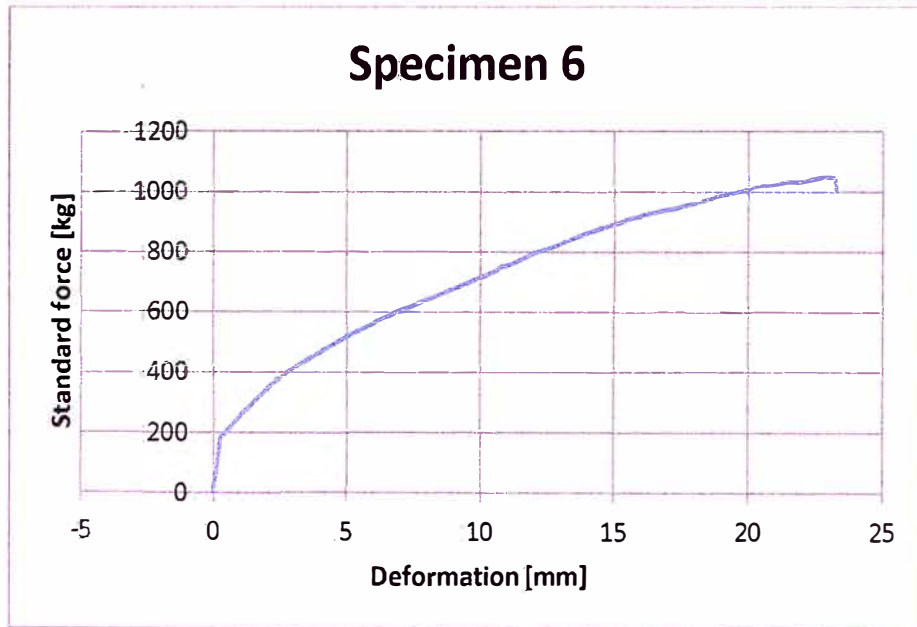
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 15.6181855 |
| 0.00393383 | 4.79388296 |
| 0.52526635 | 208.463416 |
| 1.36346424 | 286.737975 |
| 2.19856262 | 359.942845 |
| 3.1794765 | 423.418486 |
| 4.27261305 | 480.889901 |
| 5.35395765 | 535.507056 |
| 6.42252159 | 581.077965 |
| 7.54286289 | 625.124178 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.68449497 | 666.685182 |
| 9.77895164 | 707.882713 |
| 10.8822412 | 751.138547 |
| 12.0384607 | 797.541211 |
| 13.2448254 | 836.769565 |
| 14.4524851 | 876.256979 |
| 17.1476479 | 941.644887 |
| 20.0484447 | 1010.89656 |
| 21.3599854 | 1030.91527 |
| 23.1237087 | 1046.39075 |

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 16.303561 |
| 0.00491161 | 5.2362671 |
| 0.76890266 | 209.23317 |
| 1.74554861 | 280.712488 |
| 2.64584398 | 340.298295 |
| 3.74340868 | 404.064815 |
| 4.78314066 | 459.350786 |
| 6.06731796 | 522.083498 |
| 7.2163353 | 572.278083 |
| 9.47617912 | 662.185684 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 11.6500101 | 729.138817 |
| 14.6151781 | 743.001082 |
| 17.5772476 | 717.561553 |
| 21.2533188 | 696.203527 |
| 23.8716526 | 682.802375 |
| 27.7751369 | 667.576438 |
| 31.5814724 | 665.494534 |
| 33.1651421 | 664.276302 |
| 35.4054985 | 638.97071 |
| 35.3978043 | 490.024029 |



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

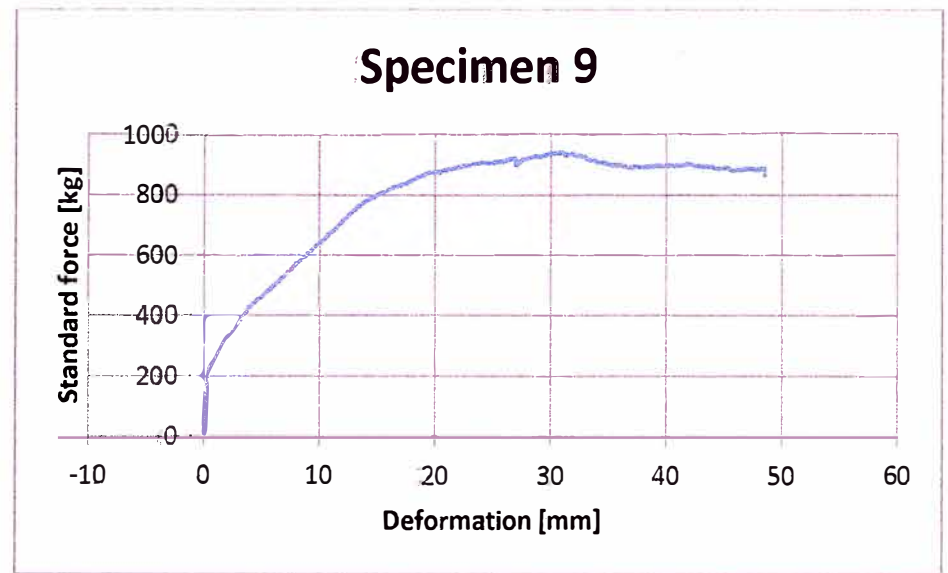
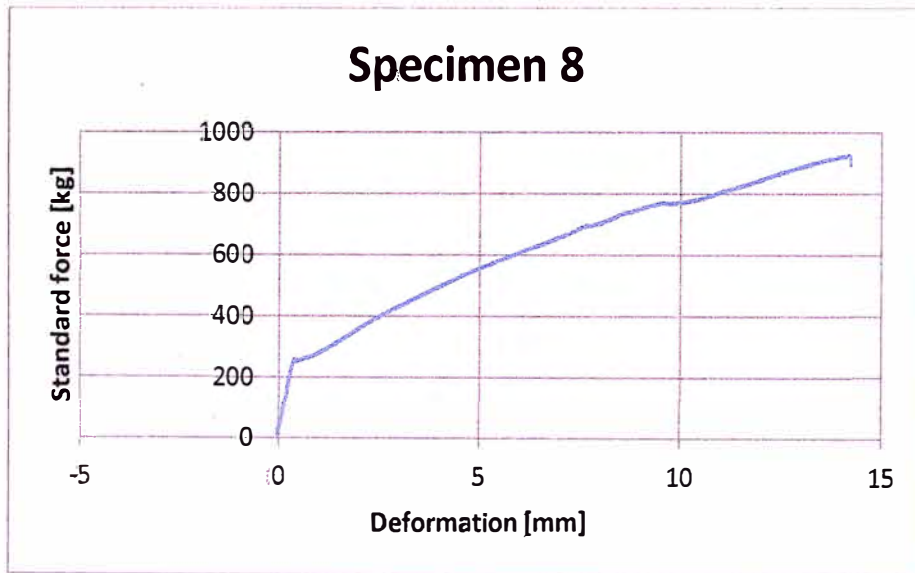
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 13.0412494 |
| 0.00114631 | 15.5499845 |
| 0.0771617 | 70.1411523 |
| 0.84113878 | 269.311209 |
| 1.49223983 | 316.795206 |
| 2.1390903 | 370.328714 |
| 2.78937364 | 417.256497 |
| 3.45603013 | 461.003742 |
| 4.14269114 | 504.816486 |
| 4.83196449 | 546.62734 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 5.55727577 | 584.590359 |
| 6.32061052 | 623.690103 |
| 7.07444048 | 661.434689 |
| 7.89347553 | 700.236335 |
| 8.71284199 | 738.958266 |
| 9.72553349 | 767.883452 |
| 10.7967186 | 795.655384 |
| 11.6457329 | 830.672976 |
| 12.4998436 | 867.941811 |
| 14.222785 | 893.646328 |

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 19.364793 |
| 0.46447888 | 226.460947 |
| 2.1957798 | 337.017652 |
| 4.03799677 | 431.702286 |
| 6.38402653 | 512.072255 |
| 8.67286396 | 594.912745 |
| 11.0102005 | 676.309152 |
| 13.3234682 | 760.746186 |
| 16.5116215 | 825.835797 |
| 19.8775501 | 873.504841 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 23.3897972 | 899.630986 |
| 26.9238205 | 917.599601 |
| 30.1219826 | 936.124379 |
| 33.0774956 | 921.029492 |
| 35.9477997 | 898.081197 |
| 39.0617409 | 895.322386 |
| 42.2143478 | 898.186056 |
| 45.3971062 | 886.27828 |
| 47.7002029 | 880.992287 |
| 48.5002403 | 864.927375 |



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

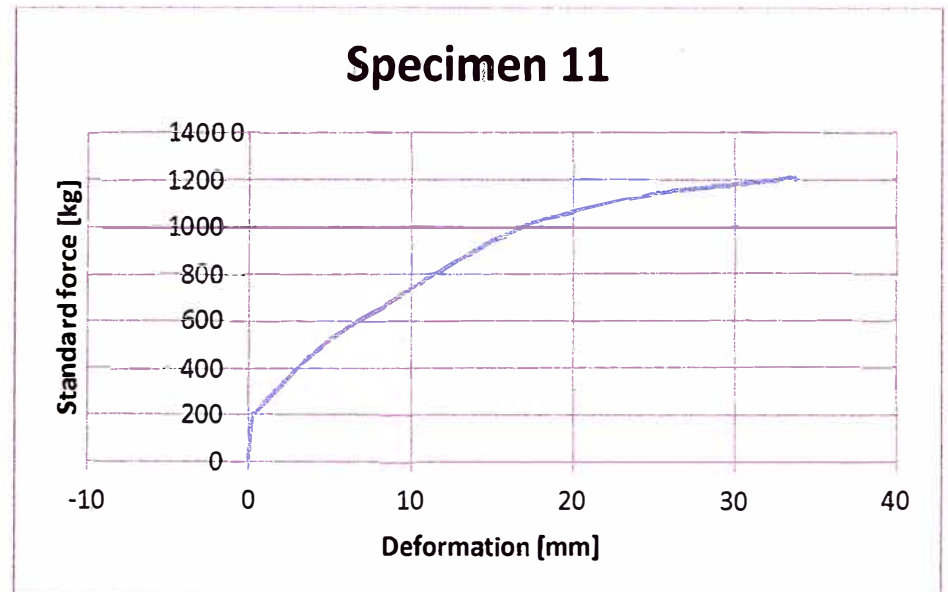
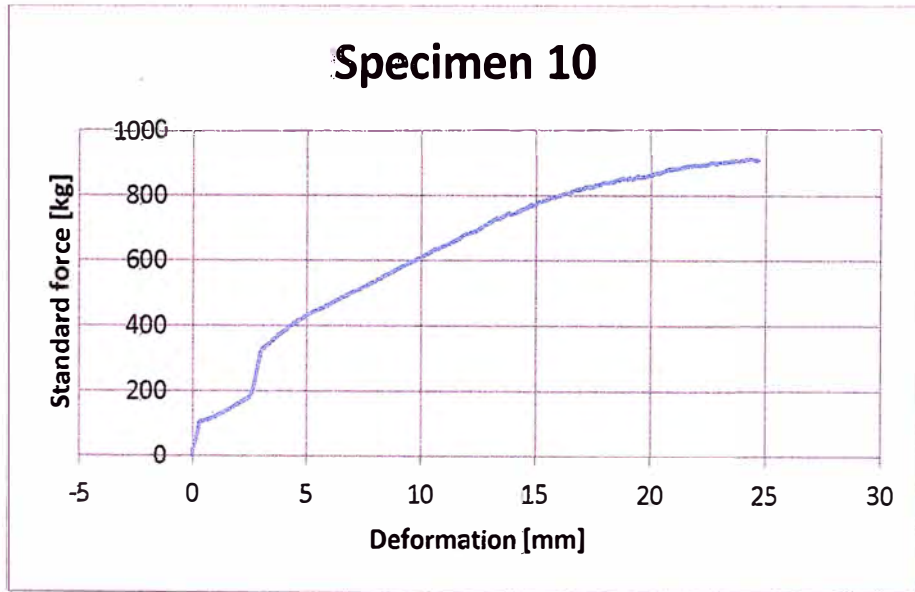
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.69890812 |
| 0.00491218 | 14.4210599 |
| 0.945355 | 119.232148 |
| 2.0134244 | 160.615884 |
| 2.8961947 | 286.473835 |
| 3.76765466 | 370.373775 |
| 4.71957064 | 418.746214 |
| 5.89806747 | 461.461469 |
| 7.01119614 | 503.353532 |
| 8.21804142 | 545.106977 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.35066223 | 588.06556 |
| 10.4803467 | 630.812631 |
| 11.6912909 | 670.155055 |
| 12.8499622 | 711.054638 |
| 13.9016552 | 741.739781 |
| 15.0862103 | 779.129309 |
| 17.7923641 | 834.068561 |
| 20.5914001 | 875.58092 |
| 21.7215729 | 890.225598 |
| 24.7021484 | 907.162746 |

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 21.1035417 |
| 0.00737018 | 6.22281562 |
| 1.06888723 | 259.074986 |
| 2.27343559 | 347.82886 |
| 3.12786674 | 410.005807 |
| 4.07617092 | 469.567316 |
| 5.49305964 | 544.064706 |
| 6.18019342 | 576.209965 |
| 7.90134096 | 647.035779 |
| 9.47191334 | 715.352782 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 11.1260414 | 787.114663 |
| 13.2651367 | 871.923285 |
| 14.9553108 | 940.256022 |
| 17.9267101 | 1025.73463 |
| 20.6281109 | 1071.95855 |
| 23.5931187 | 1116.02931 |
| 27.0273628 | 1160.09967 |
| 29.8463936 | 1175.38964 |
| 32.3483963 | 1196.79651 |
| 33.7949371 | 1195.8221 |



ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

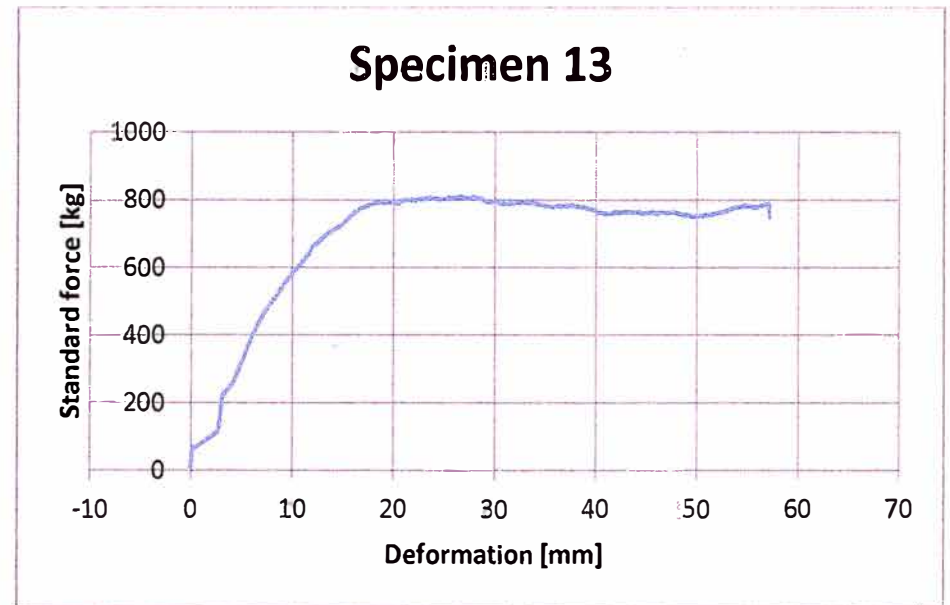
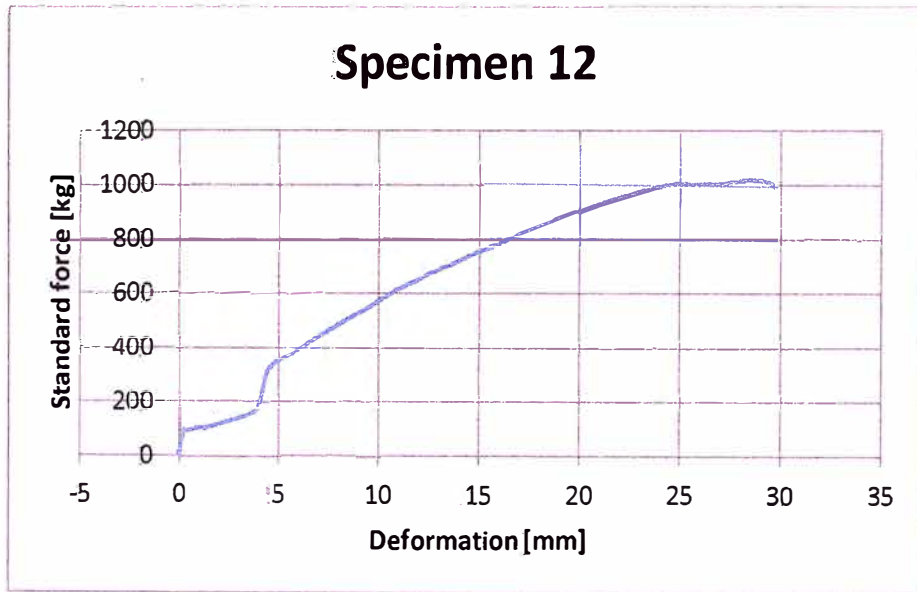
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 13.2210464 |
| 0.04717893 | 21.7471551 |
| 1.74210167 | 113.971759 |
| 3.5159924 | 154.807261 |
| 4.4746213 | 318.667939 |
| 5.75323153 | 383.977376 |
| 6.87554216 | 437.326011 |
| 8.29684925 | 499.558823 |
| 9.49369717 | 548.630475 |
| 11.4366798 | 632.196816 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 12.500824 | 672.838184 |
| 14.0804014 | 723.322999 |
| 15.8256254 | 776.591819 |
| 17.4504223 | 830.319959 |
| 19.029192 | 876.883348 |
| 20.5799313 | 916.701673 |
| 22.1888466 | 956.810378 |
| 24.6841278 | 1003.72021 |
| 27.2803383 | 1009.69212 |
| 29.6332455 | 997.550431 |

ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 8.86112633 |
| 1.18668306 | 82.6140044 |
| 3.76208377 | 243.85495 |
| 5.55204296 | 361.68886 |
| 7.38687801 | 473.316616 |
| 9.63673878 | 569.284857 |
| 12.1651087 | 667.786107 |
| 15.0516396 | 732.478388 |
| 18.0741596 | 789.572936 |
| 21.6642208 | 798.246698 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 25.3701229 | 805.354737 |
| 28.9315186 | 798.393531 |
| 32.4427719 | 790.960457 |
| 35.8983192 | 779.341468 |
| 39.3758278 | 771.136536 |
| 42.9164085 | 762.88281 |
| 46.4174957 | 761.994143 |
| 50.02034 | 750.230312 |
| 53.4192085 | 773.992538 |
| 57.1495094 | 748.180125 |



ESPECIMEN 14 – ESPEJOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

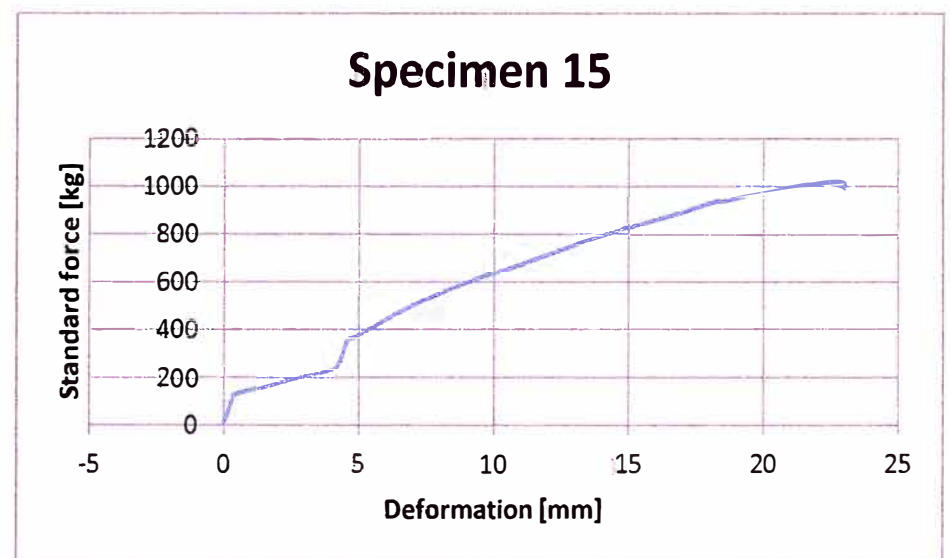
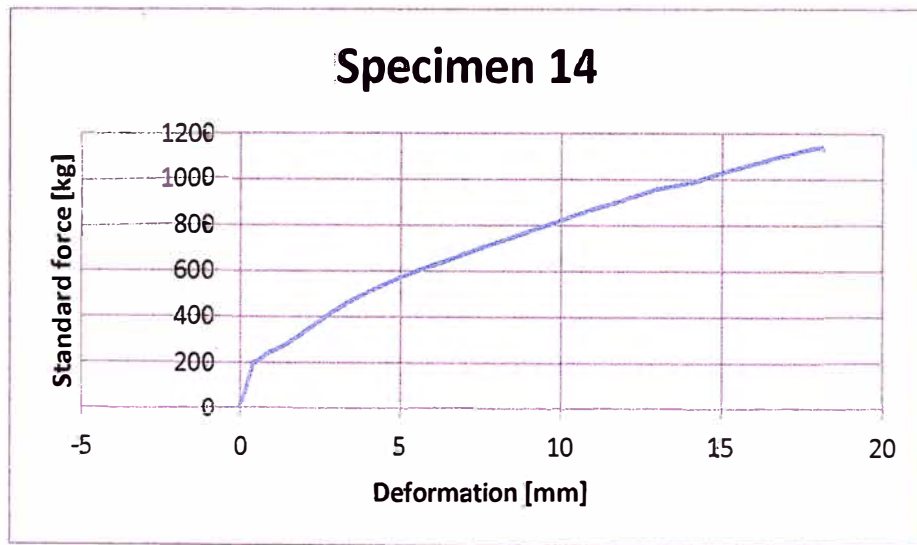
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 7.69874849 |
| 0.00458861 | 7.14947705 |
| 0.00295077 | 12.9503002 |
| 0.00114296 | 18.6529008 |
| 0.00524166 | 22.2456158 |
| 0.76660562 | 233.866337 |
| 1.68295693 | 304.232531 |
| 2.49511337 | 384.854865 |
| 3.34641647 | 461.093614 |
| 4.27833796 | 527.990035 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 5.36590815 | 593.04788 |
| 6.59635353 | 653.666075 |
| 7.73275232 | 712.333665 |
| 8.76804543 | 762.721637 |
| 9.7804203 | 811.536518 |
| 10.7619867 | 860.851298 |
| 12.4352875 | 933.44374 |
| 14.370719 | 1001.76074 |
| 16.5388184 | 1092.21654 |
| 17.7009354 | 1131.41388 |

ESPECIMEN 15 – ESPEJOR CENTRAL 4CM Y 1 PERNO

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 7.12626441 |
| 0.01425408 | 16.5909334 |
| 0.00212992 | 6.77904261 |
| 0.44334888 | 129.453508 |
| 1.85810053 | 172.482222 |
| 3.39853096 | 216.359159 |
| 4.50558662 | 334.627892 |
| 5.41556311 | 405.12414 |
| 6.25949621 | 461.974414 |
| 7.13341999 | 511.693695 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.09779167 | 557.612542 |
| 9.14407158 | 602.481848 |
| 10.2401628 | 646.41424 |
| 11.3218317 | 689.194223 |
| 12.409234 | 732.022104 |
| 13.5611877 | 775.108749 |
| 16.1441345 | 865.920503 |
| 19.0290279 | 952.64189 |
| 21.3488331 | 1006.24052 |
| 23.0127926 | 990.281467 |



ESPECIMEN 1 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

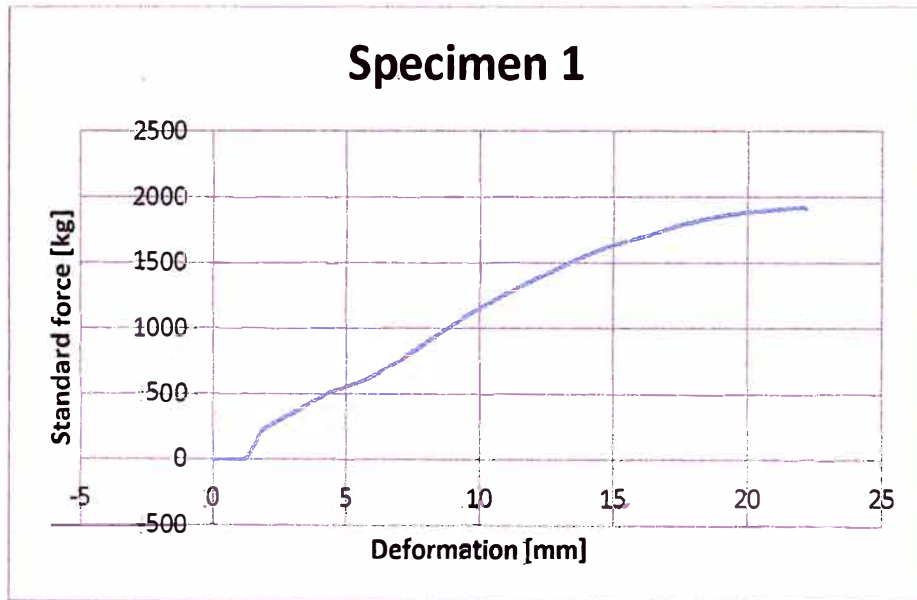
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.58940058 |
| 1.46554732 | 77.0044325 |
| 2.40353036 | 293.576771 |
| 3.34281564 | 394.765481 |
| 4.2416501 | 497.713326 |
| 5.40835238 | 581.933023 |
| 6.35273027 | 676.908634 |
| 7.47355556 | 816.632509 |
| 8.41497707 | 948.439743 |
| 10.0392866 | 1152.24546 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.8134375 | 1239.99981 |
| 11.8815069 | 1352.4523 |
| 13.0200291 | 1462.85421 |
| 14.1659212 | 1569.08663 |
| 15.2502184 | 1646.84387 |
| 16.4415035 | 1718.61377 |
| 17.6196671 | 1793.81207 |
| 19.3476868 | 1862.32286 |
| 21.2097397 | 1903.98225 |
| 22.1899853 | 1910.22303 |

ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.30611392 |
| 0.90192908 | 239.091237 |
| 2.07797217 | 376.318202 |
| 3.24205804 | 545.75869 |
| 4.08435869 | 651.261875 |
| 4.92552137 | 752.111111 |
| 6.09025526 | 875.172535 |
| 6.61503077 | 923.390075 |
| 7.79320765 | 1026.49772 |
| 9.00332355 | 1125.57112 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.2240973 | 1223.66095 |
| 11.7712374 | 1345.92413 |
| 13.017087 | 1442.5286 |
| 15.0395288 | 1588.29265 |
| 16.7711525 | 1701.8263 |
| 18.5964813 | 1807.01401 |
| 21.0242653 | 1912.01231 |
| 23.1348495 | 1966.08794 |
| 25.944706 | 2024.0126 |
| 34.8471184 | 610.13674 |



ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

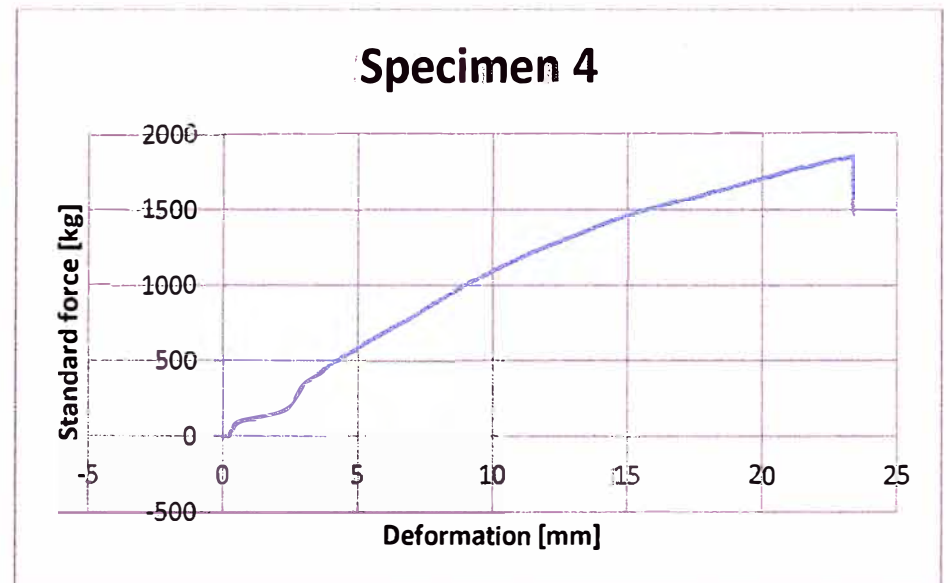
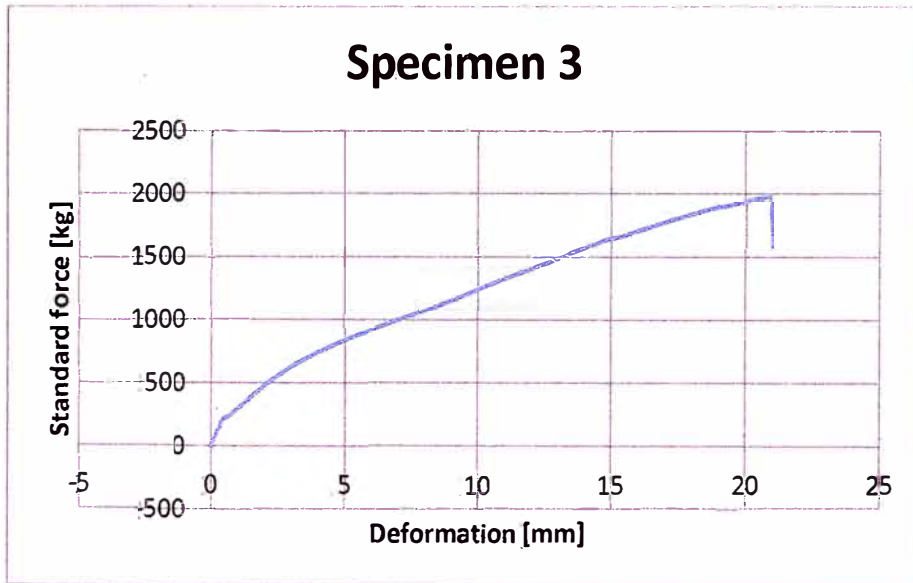
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 2.04829772 |
| 0.00753985 | 3.01494411 |
| 0.838027 | 269.059965 |
| 1.76274312 | 438.104789 |
| 2.64961457 | 579.682826 |
| 3.72407603 | 711.969096 |
| 4.67337036 | 810.042743 |
| 5.82531738 | 906.784335 |
| 6.78887177 | 977.617866 |
| 8.43333054 | 1109.95124 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.23630905 | 1176.04807 |
| 10.3432074 | 1273.34015 |
| 11.5438337 | 1368.91206 |
| 12.7224903 | 1463.91117 |
| 13.7574787 | 1554.24627 |
| 14.8257046 | 1638.77408 |
| 16.0661411 | 1712.20549 |
| 17.5474186 | 1814.07933 |
| 19.2467613 | 1902.53473 |
| 20.9928112 | 1572.89652 |

ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.63406257 |
| 0.82951987 | 101.459087 |
| 1.94953024 | 149.467406 |
| 2.88160491 | 313.295209 |
| 3.7743814 | 446.372955 |
| 4.84949636 | 570.41242 |
| 5.79534674 | 672.043422 |
| 6.91502142 | 780.743577 |
| 7.84317446 | 883.49577 |
| 9.51728821 | 1052.68591 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.4947586 | 1141.02839 |
| 11.8479233 | 1248.02639 |
| 13.3459129 | 1352.0946 |
| 15.0578728 | 1464.73969 |
| 16.7550907 | 1550.47631 |
| 18.8098049 | 1652.95391 |
| 20.8265133 | 1754.63485 |
| 21.6576748 | 1787.66748 |
| 23.0727654 | 1846.1012 |
| 23.3969688 | 1467.55436 |



ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

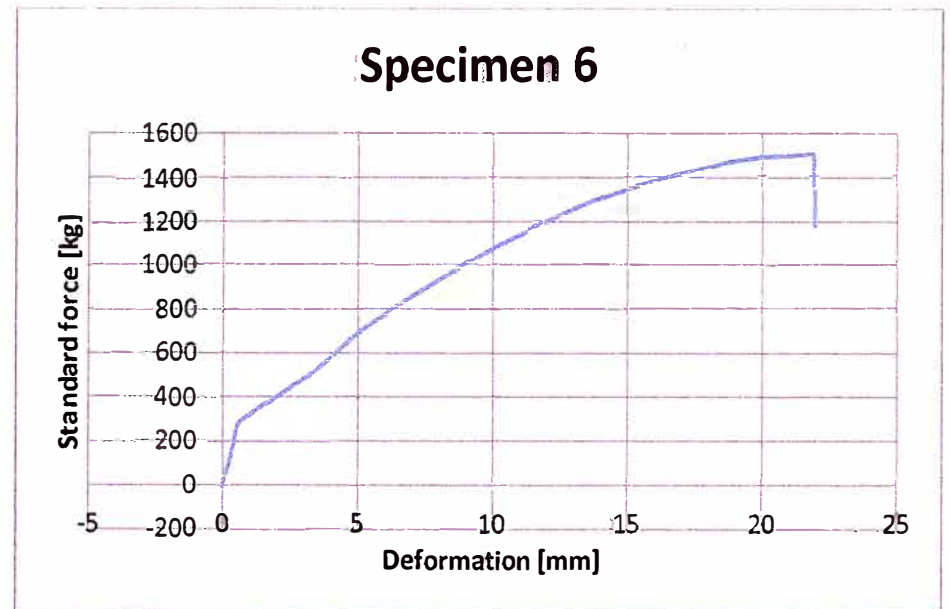
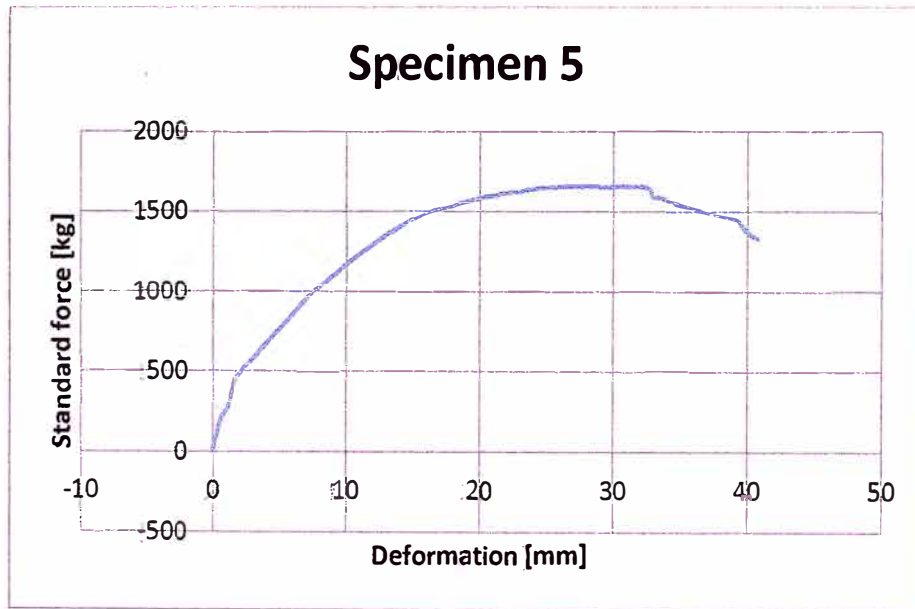
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.45369582 |
| 0.51427954 | 182.084371 |
| 2.15841699 | 509.358555 |
| 3.80370402 | 663.985872 |
| 5.46946716 | 811.83337 |
| 7.13916349 | 970.058324 |
| 8.91371346 | 1093.64554 |
| 10.703167 | 1216.0782 |
| 12.6643362 | 1335.40312 |
| 14.6933346 | 1437.97214 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 17.0922737 | 1516.14842 |
| 19.740097 | 1575.09788 |
| 22.335638 | 1618.30477 |
| 24.9415226 | 1646.28691 |
| 27.8799973 | 1655.69449 |
| 30.5954762 | 1657.20345 |
| 33.0309486 | 1587.55594 |
| 35.5612946 | 1530.30166 |
| 38.0302048 | 1470.98037 |
| 40.7494659 | 1326.99853 |

ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 2.53441883 |
| 0.00065536 | 8.88166815 |
| 0.9237259 | 315.390034 |
| 1.89119327 | 392.848036 |
| 2.79494071 | 467.216442 |
| 3.87300825 | 568.751398 |
| 4.817873 | 673.046011 |
| 5.94476509 | 771.079177 |
| 6.93436146 | 851.199445 |
| 8.57931232 | 977.053039 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.39720631 | 1033.51654 |
| 10.5214739 | 1112.00023 |
| 11.8765831 | 1192.16088 |
| 13.1624002 | 1267.27224 |
| 14.4759169 | 1322.73574 |
| 15.8872337 | 1376.79534 |
| 17.2690544 | 1424.70656 |
| 19.2857685 | 1478.185 |
| 21.2436428 | 1502.09247 |
| 21.9465313 | 1181.04498 |



ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

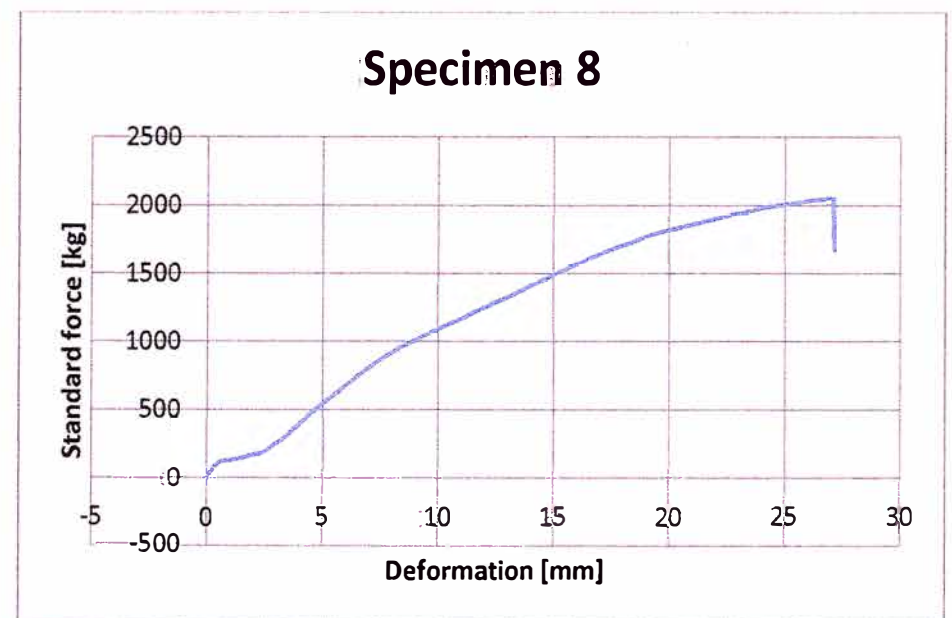
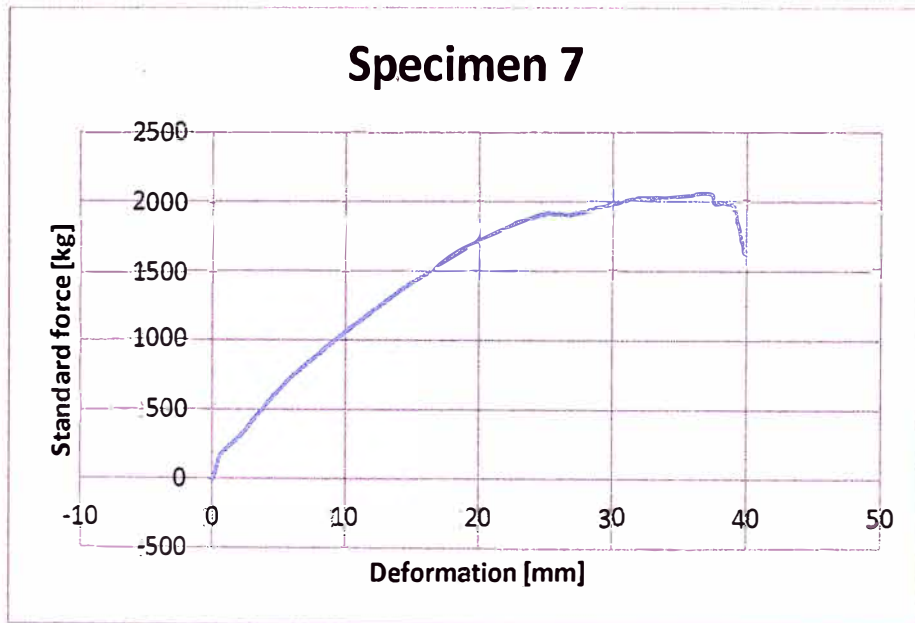
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.15107712 |
| 1.36658418 | 242.46367 |
| 3.01170516 | 414.815078 |
| 4.65616369 | 599.085864 |
| 6.3029108 | 762.505445 |
| 8.00570393 | 898.38044 |
| 9.73372746 | 1037.51434 |
| 11.4784565 | 1168.95118 |
| 13.2715187 | 1298.2975 |
| 15.1101418 | 1424.49077 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 16.9300728 | 1543.02541 |
| 18.9135151 | 1660.8831 |
| 21.0008411 | 1767.06503 |
| 23.2659302 | 1861.47482 |
| 25.7692413 | 1909.84681 |
| 28.3153191 | 1941.51557 |
| 30.8177986 | 1998.5679 |
| 33.5826035 | 2026.01758 |
| 36.365921 | 2056.40512 |
| 39.767395 | 1608.88603 |

ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 6.73714129 |
| 0.33832407 | 84.4605098 |
| 1.9244622 | 164.69557 |
| 3.20027375 | 276.154586 |
| 4.04061651 | 402.443999 |
| 4.88308477 | 528.353458 |
| 6.0481534 | 684.392843 |
| 6.56605196 | 752.490766 |
| 7.7312808 | 891.779072 |
| 8.95401287 | 1005.37705 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.1485624 | 1106.83214 |
| 11.7153692 | 1230.39406 |
| 12.9395809 | 1325.92614 |
| 14.9256449 | 1484.20671 |
| 16.538332 | 1609.67462 |
| 18.2504635 | 1720.14116 |
| 21.0073891 | 1839.37048 |
| 23.4581184 | 1923.25946 |
| 26.653162 | 2008.86723 |
| 27.1445103 | 1672.08265 |



ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

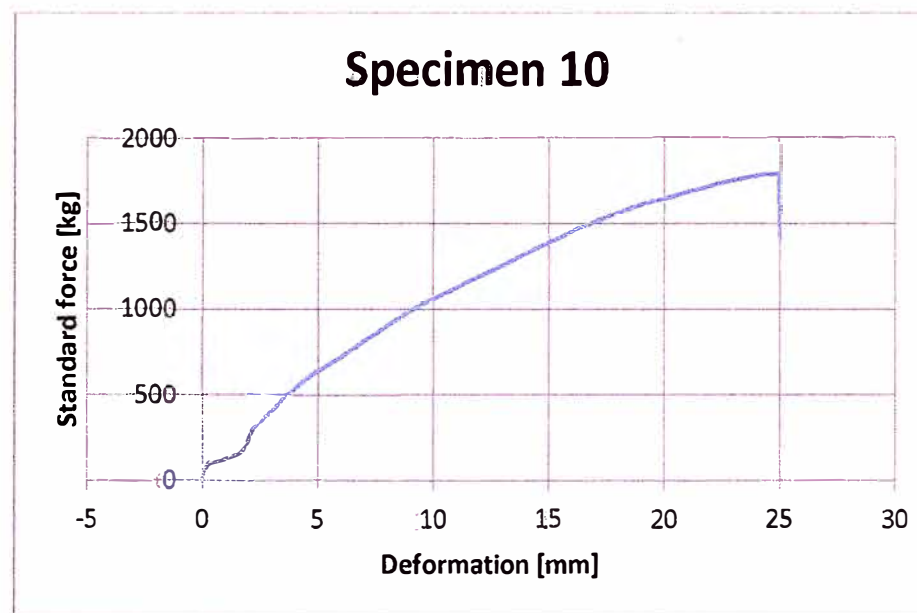
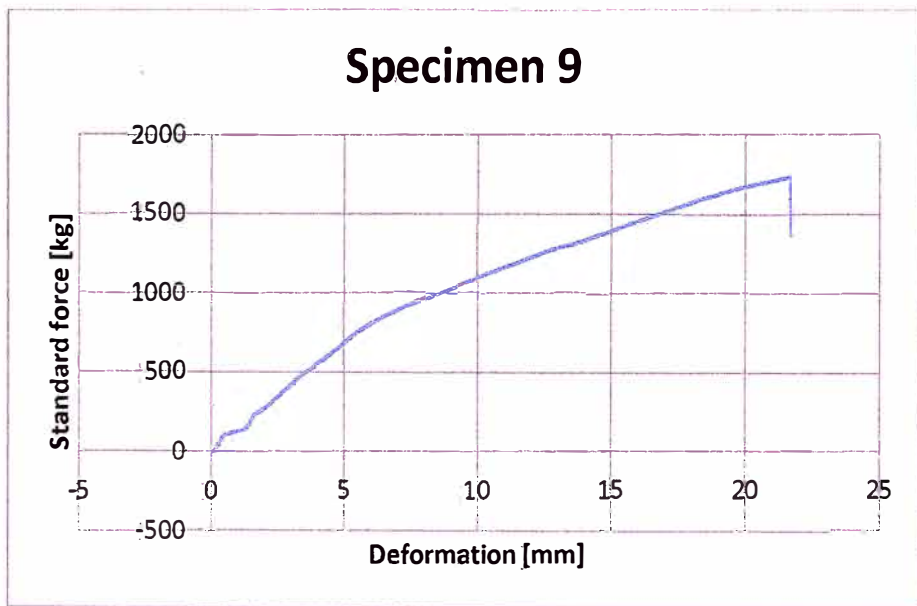
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.92833083 |
| 0.65878767 | 108.925595 |
| 1.71294105 | 240.493646 |
| 2.63945341 | 366.522802 |
| 3.52664876 | 492.224435 |
| 4.60028744 | 624.332653 |
| 5.54613829 | 754.823865 |
| 6.67908812 | 860.23429 |
| 7.66345215 | 937.5475 |
| 9.32642174 | 1049.03126 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 10.1513538 | 1104.89777 |
| 11.3306751 | 1180.82391 |
| 12.6467981 | 1265.75432 |
| 13.9807816 | 1330.92434 |
| 15.0844183 | 1396.66736 |
| 16.2307949 | 1465.38727 |
| 17.3603096 | 1532.23544 |
| 18.9328537 | 1621.2479 |
| 20.6356354 | 1695.3746 |
| 21.7237072 | 1365.94621 |

ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 7.02523493 |
| 0.01228876 | 20.356505 |
| 0.98565948 | 123.29396 |
| 1.93724334 | 220.221782 |
| 2.82344604 | 386.168273 |
| 3.89824319 | 527.898768 |
| 4.84309816 | 628.394191 |
| 5.99899006 | 723.88698 |
| 6.92781115 | 811.011672 |
| 8.61683559 | 957.84304 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.99914455 | 1059.60295 |
| 11.5503798 | 1164.35818 |
| 13.0508261 | 1259.46175 |
| 14.7968702 | 1374.39144 |
| 16.2979794 | 1470.6169 |
| 18.2688046 | 1578.96951 |
| 20.5411034 | 1666.43368 |
| 21.4954796 | 1703.0639 |
| 22.9942837 | 1753.00051 |
| 25.013279 | 1419.92704 |



ESPECIMEN 11 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 16.7303244 |
| 0.00081957 | 16.6659246 |
| 0.45562878 | 344.301951 |
| 1.53665018 | 490.101155 |
| 2.09190226 | 557.49165 |
| 2.86997151 | 646.245947 |
| 3.91495442 | 749.063614 |
| 4.49411917 | 800.502023 |
| 5.43276358 | 877.404559 |
| 7.48747826 | 1029.72975 |

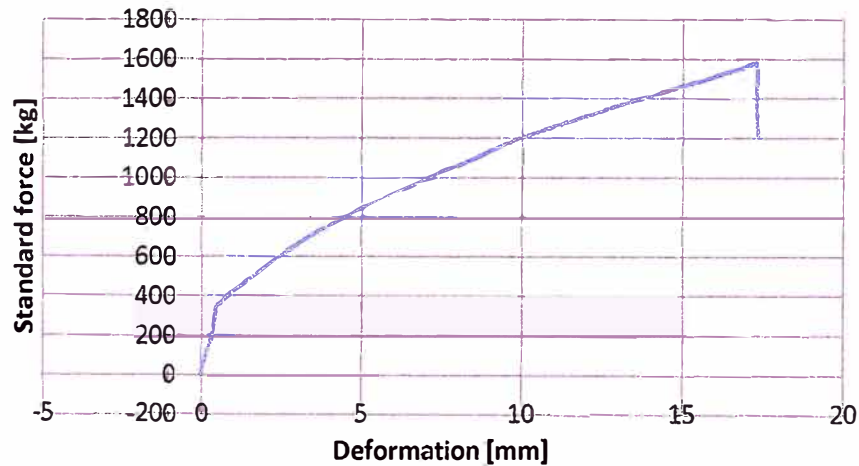
| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 8.278832436 | 1078.79015 |
| 8.783135414 | 1117.31789 |
| 9.767311096 | 1187.09486 |
| 11.52416611 | 1283.95097 |
| 12.87438107 | 1358.58554 |
| 14.19820404 | 1421.99764 |
| 15.63507843 | 1493.72781 |
| 16.60534668 | 1544.94644 |
| 17.13372803 | 1571.12995 |
| 17.34016418 | 1211.48022 |

ESPECIMEN 12 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

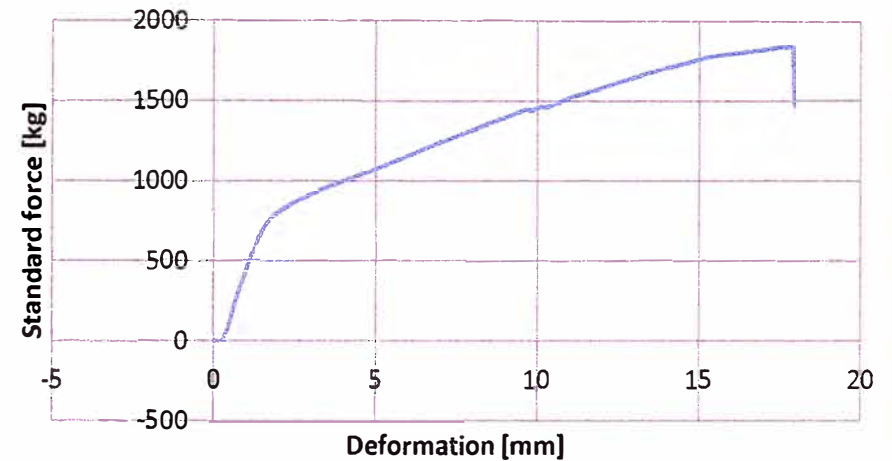
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 5.07769498 |
| 0.75643778 | 309.247912 |
| 1.53550828 | 703.483594 |
| 2.60963535 | 882.57444 |
| 3.18127489 | 931.82743 |
| 4.00227404 | 997.642842 |
| 5.1004982 | 1083.02585 |
| 5.682621 | 1133.11563 |
| 6.61798096 | 1210.38851 |
| 8.70514202 | 1376.02219 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 9:073458672 | 1402.69673 |
| 9:931643486 | 1449.92273 |
| 10.82784939 | 1506.49956 |
| 11.75173855 | 1566.46584 |
| 12.66056633 | 1628.36072 |
| 13.64459038 | 1687.11629 |
| 14.65105152 | 1738.13457 |
| 15.74174309 | 1786.4974 |
| 16.90122795 | 1814.47307 |
| 17.66668892 | 1833.89289 |

Specimen 11



Specimen 12



ESPECIMEN 13 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 2.16567747 |
| 0.00328379 | 9.89512706 |
| 0.95026338 | 177.496034 |
| 1.876284 | 294.16719 |
| 2.76233149 | 441.436493 |
| 3.83760643 | 559.165867 |
| 4.78230858 | 671.183286 |
| 5.90477896 | 794.067853 |
| 6.82704306 | 883.263944 |
| 8.43988132 | 1013.90592 |

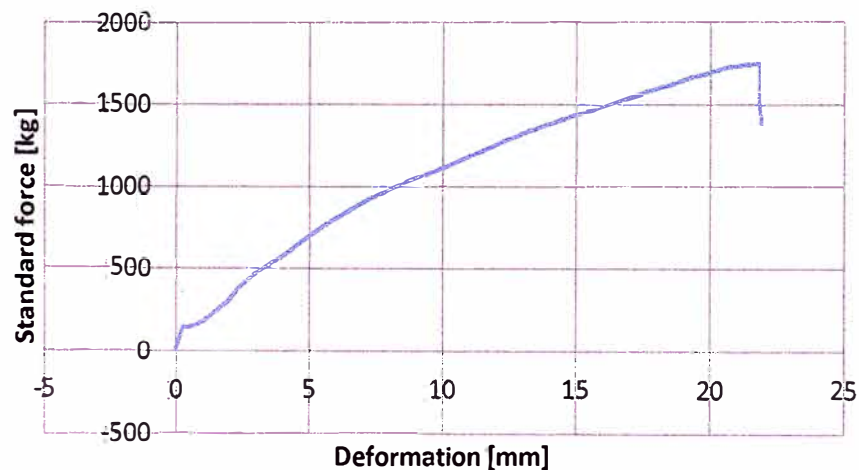
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.28840733 | 1068.60334 |
| 10.416935 | 1145.63394 |
| 11.6244307 | 1231.37893 |
| 12.8121138 | 1312.50811 |
| 13.9681644 | 1379.60812 |
| 15.0999708 | 1444.80214 |
| 16.3071556 | 1504.35546 |
| 17.9424419 | 1591.67563 |
| 19.6214695 | 1673.74008 |
| 21.8821354 | 1381.2802 |

ESPECIMEN 14 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

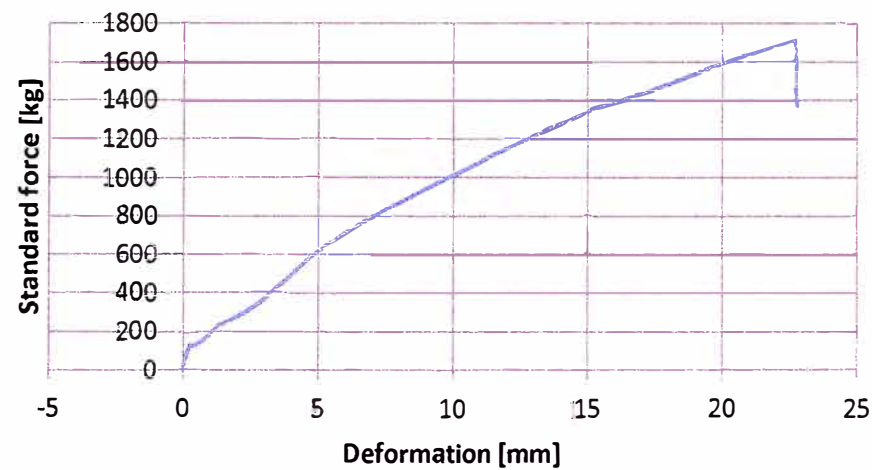
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.87228245 |
| 0.00032692 | 7.55999623 |
| 0.68025601 | 150.858873 |
| 1.63920522 | 254.185004 |
| 2.54720998 | 322.470141 |
| 3.62102485 | 445.482745 |
| 4.56572723 | 570.401168 |
| 5.70589066 | 686.153746 |
| 6.64714289 | 767.339637 |
| 8.32338905 | 891.233364 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 9.116540909 | 949.003972 |
| 10.56701469 | 1046.01344 |
| 12.00717354 | 1148.36357 |
| 13.45994663 | 1246.54203 |
| 14.96841049 | 1339.05598 |
| 16.63254356 | 1417.82248 |
| 18.28944778 | 1500.74374 |
| 19.89802933 | 1586.99639 |
| 21.60736847 | 1665.75463 |
| 22.48703766 | 1704.32998 |

Specimen 13



Specimen 14



ESPECIMEN 15 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 2 PERNOS

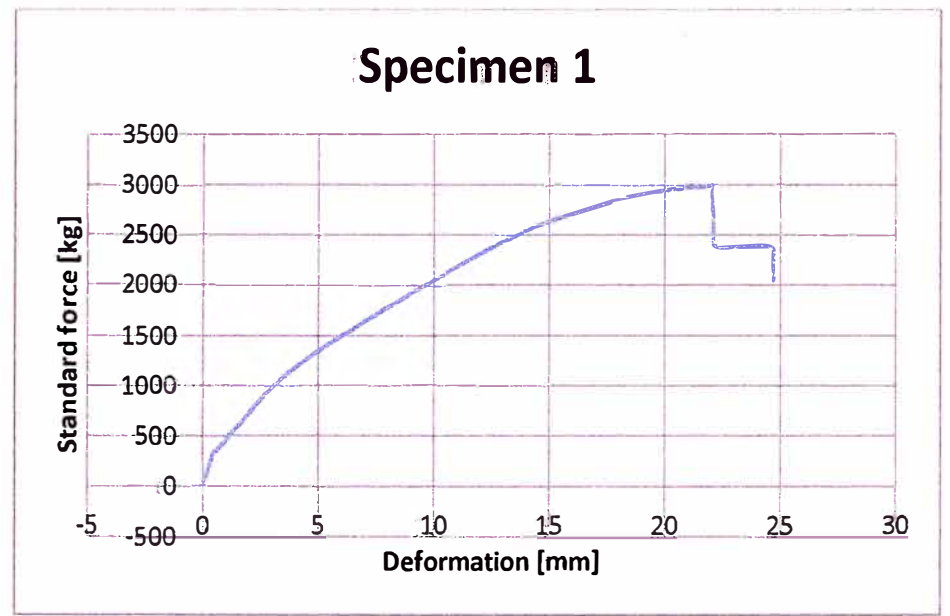
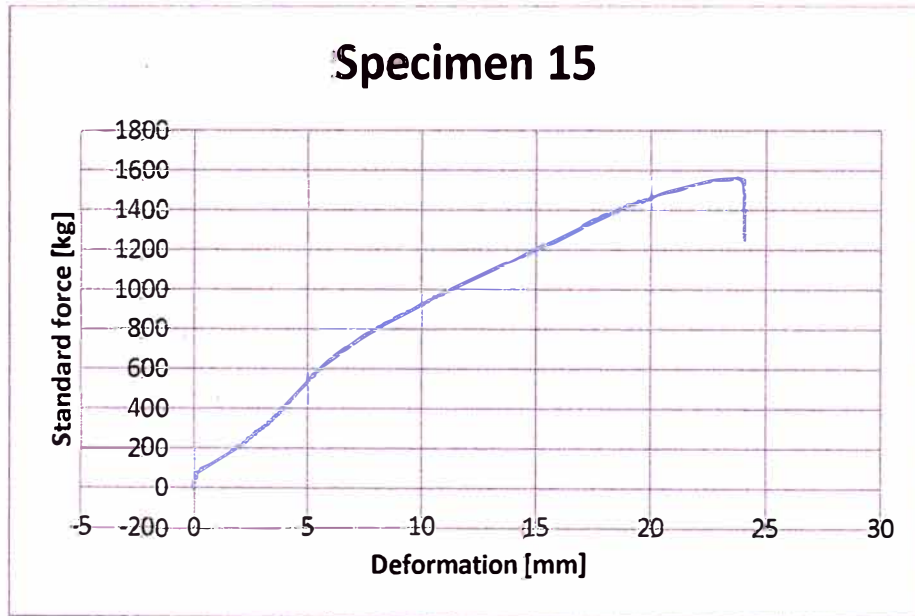
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.30073399 |
| 0.0031104 | 12.8631631 |
| 0.92535627 | 129.856603 |
| 1.85679495 | 199.101769 |
| 2.74529886 | 281.490868 |
| 3.81860399 | 391.046529 |
| 4.76429796 | 504.918557 |
| 5.89101839 | 634.839664 |
| 6.81639051 | 715.258627 |
| 8.42791748 | 830.381899 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.28578186 | 880.803181 |
| 10.7030001 | 968.161592 |
| 12.1693716 | 1052.17983 |
| 13.7597694 | 1135.87623 |
| 15.319025 | 1220.87884 |
| 16.8260326 | 1307.38901 |
| 18.3936596 | 1393.20749 |
| 20.0695648 | 1464.52618 |
| 21.8154564 | 1530.81879 |
| 23.8832741 | 1557.63046 |

ESPECIMEN 1 – ESPELOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 0.98858245 |
| 0.00868265 | 13.1850865 |
| 1.19864869 | 516.540783 |
| 2.36322236 | 827.843264 |
| 3.20453095 | 1030.56603 |
| 4.04552555 | 1188.53352 |
| 5.21141911 | 1382.42379 |
| 5.72897768 | 1459.67148 |
| 6.90372133 | 1625.41161 |
| 8.0784502 | 1791.03533 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.26613331 | 1958.98219 |
| 10.785408 | 2159.59343 |
| 11.985713 | 2309.37222 |
| 13.8529835 | 2528.28876 |
| 15.5393925 | 2676.12351 |
| 17.2618504 | 2803.20405 |
| 19.5325108 | 2930.41345 |
| 21.5700226 | 2976.02803 |
| 24.0615273 | 2394.29367 |
| 24.713625 | 2113.41244 |



ESPECIMEN 2 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

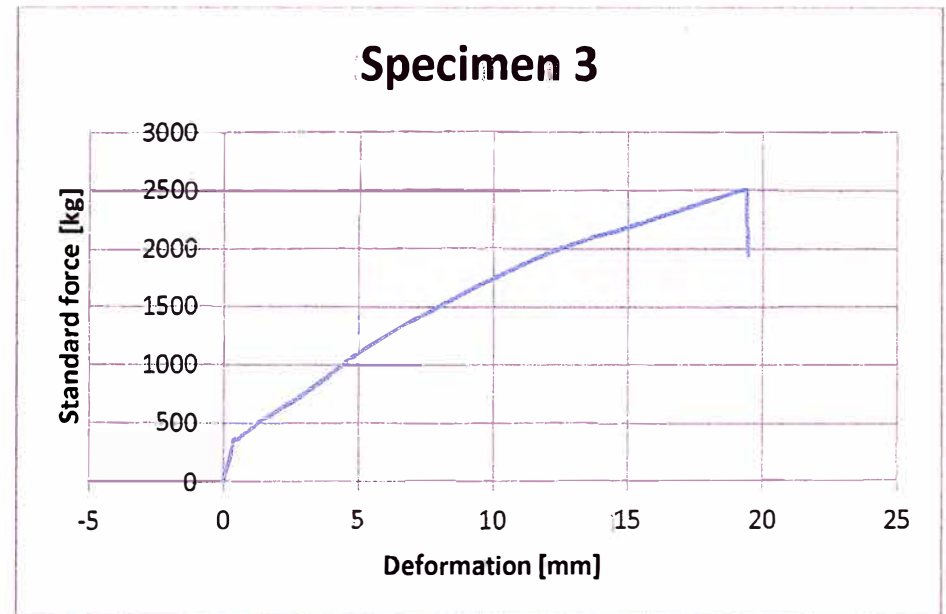
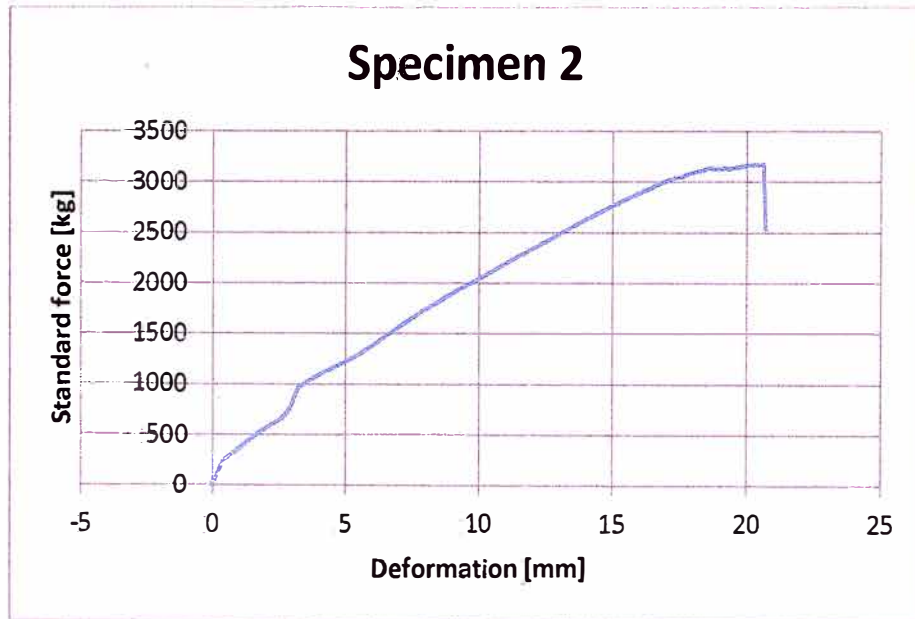
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 17.7927596 |
| 0.01376256 | 2.63880997 |
| 0.74202651 | 312.713453 |
| 1.66673529 | 505.771574 |
| 2.55572772 | 654.08133 |
| 3.62905288 | 1034.29736 |
| 4.57571888 | 1166.37192 |
| 5.69539356 | 1325.14492 |
| 6.61847496 | 1494.81793 |
| 8.17135334 | 1769.36238 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.93206501 | 1887.38975 |
| 9.97096062 | 2038.94965 |
| 11.0934334 | 2208.88277 |
| 12.1944466 | 2366.14831 |
| 13.1645355 | 2509.52459 |
| 14.1590395 | 2648.33963 |
| 15.1302919 | 2783.18754 |
| 16.450346 | 2944.65821 |
| 17.9014721 | 3084.2705 |
| 20.4080658 | 3171.27998 |

ESPECIMEN 3 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 33.3734899 |
| 0.00033061 | 8.80360002 |
| 0.47414222 | 357.177512 |
| 1.39935887 | 520.928799 |
| 2.28654528 | 648.430967 |
| 3.3613286 | 817.539748 |
| 4.30637074 | 983.267333 |
| 5.42636871 | 1158.95378 |
| 6.34896088 | 1291.93195 |
| 7.90953445 | 1495.48732 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.66909695 | 1590.445 |
| 9.72831631 | 1714.60561 |
| 10.8578405 | 1840.61266 |
| 11.9578505 | 1951.78762 |
| 12.9810438 | 2043.19044 |
| 14.0949888 | 2122.38395 |
| 15.1855021 | 2195.70214 |
| 16.7102032 | 2310.5921 |
| 18.1724701 | 2421.0656 |
| 19.3414764 | 2499.42083 |



ESPECIMEN 4 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

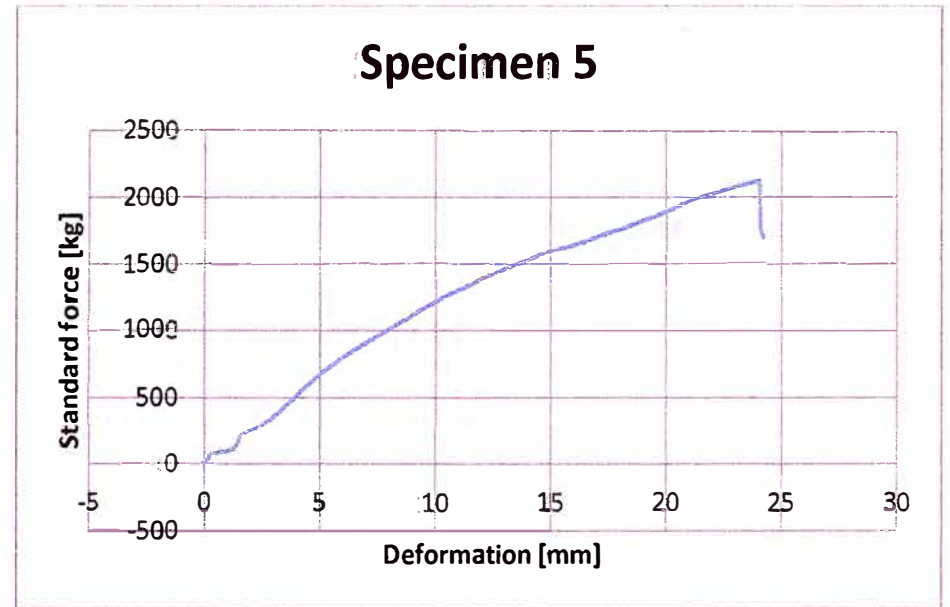
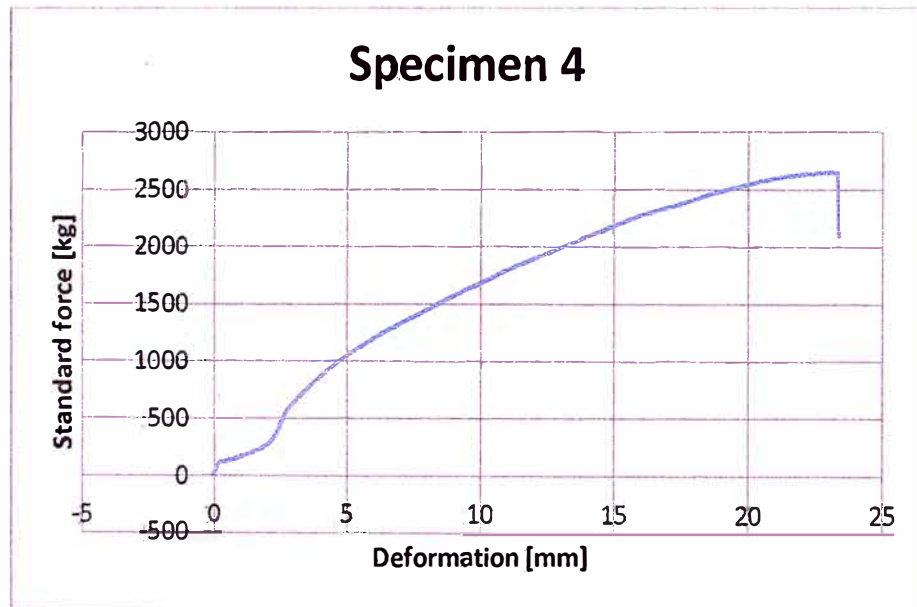
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 19.8653885 |
| 0.00360431 | 1:51800913 |
| 0.69746679 | 140.877031 |
| 1.62937808 | 222.975588 |
| 2.51591372 | 464.946279 |
| 3.59153008 | 780.401116 |
| 4.53557587 | 970.382263 |
| 5.65656567 | 1152.61342 |
| 6.57783556 | 1280.0408 |
| 8.26145363 | 1481.41653 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.58544731 | 1636.68903 |
| 10.9797344 | 1791.7569 |
| 12.3364944 | 1927.40863 |
| 13.9447365 | 2086.27026 |
| 15.2918367 | 2214.99709 |
| 17.1524086 | 2355.3662 |
| 19.0306664 | 2487.11891 |
| 19.8621578 | 2535.62653 |
| 21.2018757 | 2601.84475 |
| 22.9343128 | 2647.11139 |

ESPECIMEN 5 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 6.07559736 |
| 0.01818624 | 0.06482077 |
| 1.02563453 | 98.137329 |
| 2.02145314 | 252.514024 |
| 2.90881276 | 343.904496 |
| 3.9834342 | 515.185227 |
| 4.92896032 | 660.733784 |
| 6.04797983 | 805.550863 |
| 6.97073555 | 904.090253 |
| 8.64108086 | 1076.14745 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.95261955 | 1206.60829 |
| 11.3567209 | 1328.12082 |
| 12.7480555 | 1445.67976 |
| 14.4439621 | 1559.34296 |
| 16.0048676 | 1646.35433 |
| 17.9661922 | 1758.68523 |
| 19.7939968 | 1881.75482 |
| 20.5099697 | 1933.21703 |
| 22.1600056 | 2031.23427 |
| 24.1663952 | 1726.77967 |



ESPECIMEN 6 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

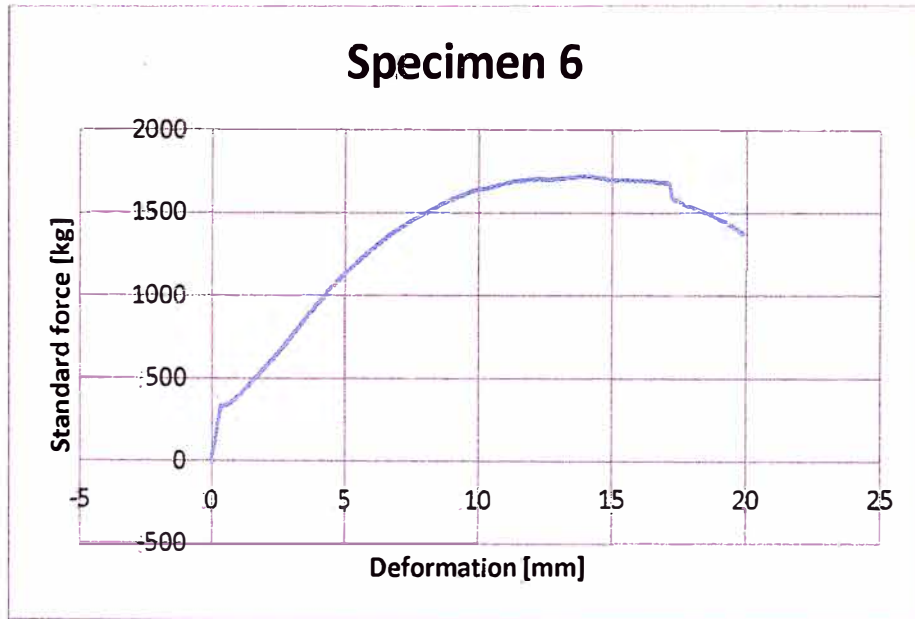
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 20.6496407 |
| 0.00360628 | 26.1248257 |
| 0.60783589 | 343.58332 |
| 1.5325551 | 484.146321 |
| 2.42072439 | 639.386015 |
| 3.49518728 | 856.566498 |
| 4.43955994 | 1039.6427 |
| 5.55957031 | 1214.23057 |
| 6.48887634 | 1340.73831 |
| 8.07780075 | 1500.07634 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 8.553752899 | 1541.41269 |
| 9.657215118 | 1622.36491 |
| 10.89075756 | 1673.43895 |
| 12.31764507 | 1701.59865 |
| 13.81399441 | 1716.95474 |
| 15.32198524 | 1695.0878 |
| 16.72608376 | 1679.04659 |
| 17.923769 | 1530.35136 |
| 19.06703186 | 1451.25494 |
| 19.7456665 | 1386.71467 |

ESPECIMEN 7 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.38609546 |
| 0.02358233 | 6.6801339 |
| 0.96910846 | 387.059777 |
| 1.89414978 | 576.001491 |
| 2.78166199 | 771.085949 |
| 3.85677981 | 966.4934 |
| 4.80198097 | 1106.06397 |
| 5.92150307 | 1261.15006 |
| 6.84686995 | 1388.52954 |
| 8.42562675 | 1569.73481 |

| x(mm) | y(kg) |
|-------------|------------|
| 9.212553024 | 1651.22089 |
| 10.2937336 | 1765.74657 |
| 11.43618965 | 1887.60624 |
| 12.54030037 | 2003.79414 |
| 13.54513264 | 2095.92132 |
| 14.61107731 | 2183.56234 |
| 16.09300995 | 2273.44913 |
| 17.88083267 | 2384.68205 |
| 19.73419571 | 2504.74188 |
| 20.85404015 | 2235.54019 |



ESPECIMEN 8 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

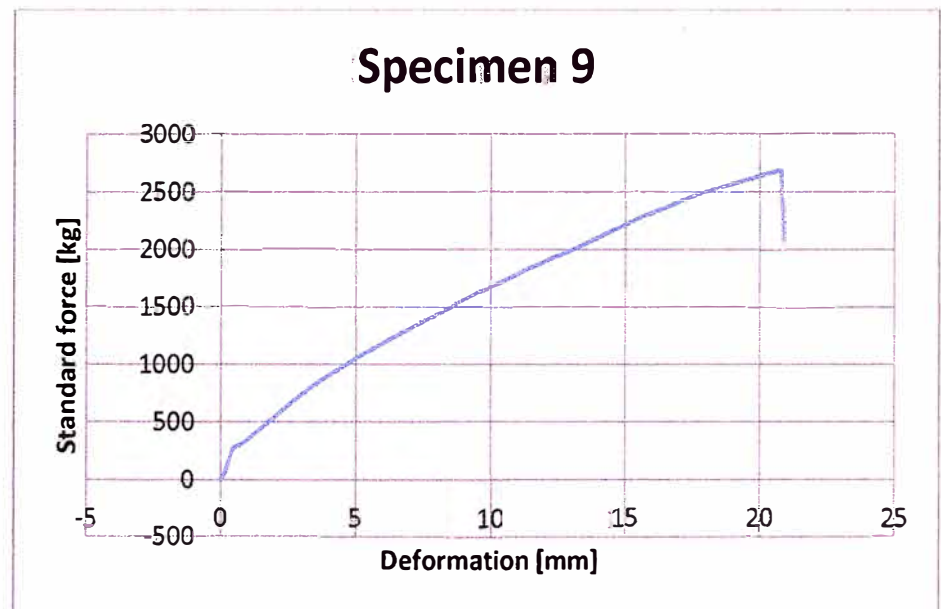
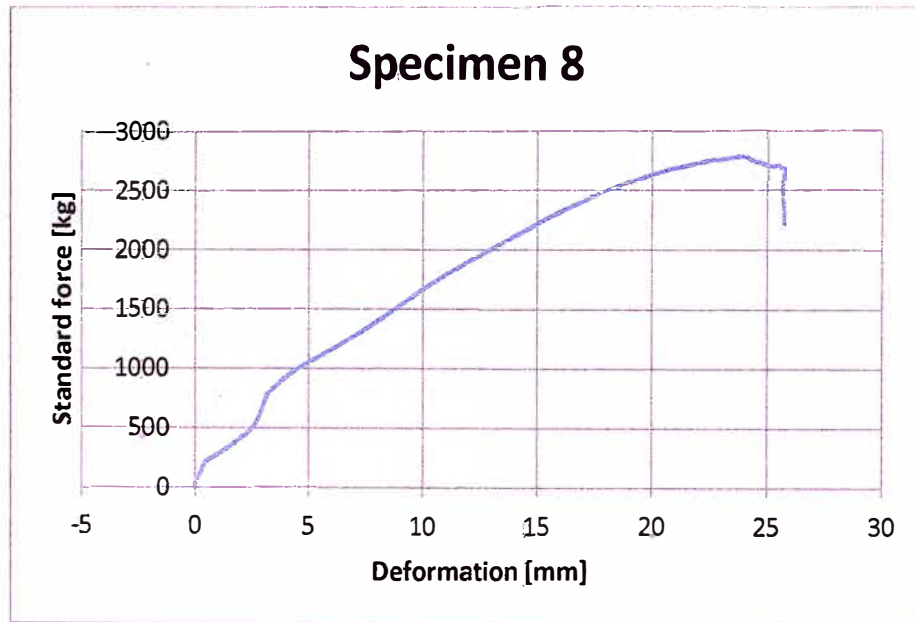
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 7.14885078 |
| 0.03652915 | 37.3957799 |
| 1.20126069 | 301.138629 |
| 2.39876676 | 472.693284 |
| 3.23960233 | 792.138508 |
| 4.08108854 | 937.37154 |
| 5.25056791 | 1077.98523 |
| 5.76748323 | 1133.04612 |
| 6.94271517 | 1264.01552 |
| 8.11171341 | 1409.71793 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.27611542 | 1563.17377 |
| 10.7916489 | 1761.88937 |
| 11.9735794 | 1894.38496 |
| 13.8143215 | 2096.31805 |
| 15.3283749 | 2257.6979 |
| 16.8799305 | 2401.73162 |
| 18.8537197 | 2563.81312 |
| 20.5986099 | 2676.38601 |
| 22.9705276 | 2768.02982 |
| 25.6768303 | 2698.20415 |

ESPECIMEN 9 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.11271599 |
| 0.05521125 | 19.9618862 |
| 1.00662732 | 351.678463 |
| 1.93150532 | 533.576018 |
| 2.81886482 | 706.672846 |
| 3.89331532 | 888.403552 |
| 4.83835268 | 1029.26331 |
| 5.95918703 | 1179.76067 |
| 6.88175917 | 1297.71475 |
| 8.43774414 | 1485.49589 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.20567322 | 1582.12446 |
| 10.2470388 | 1702.17005 |
| 11.3732672 | 1833.43661 |
| 12.4770575 | 1943.78484 |
| 13.4704266 | 2046.14861 |
| 14.4583721 | 2158.41658 |
| 15.4612494 | 2270.26451 |
| 16.8202953 | 2398.27952 |
| 18.2483234 | 2519.23758 |
| 20.5494652 | 2674.03409 |



ESPECIMEN 10 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

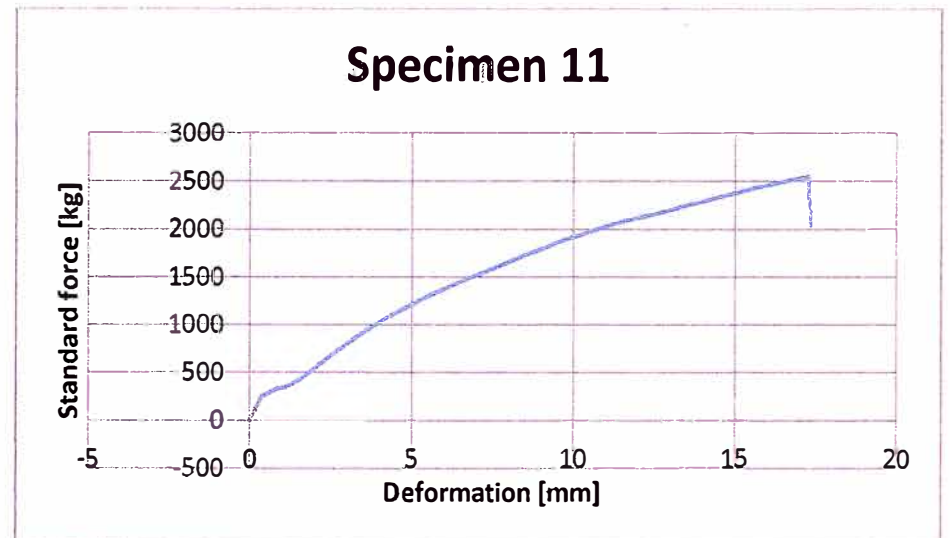
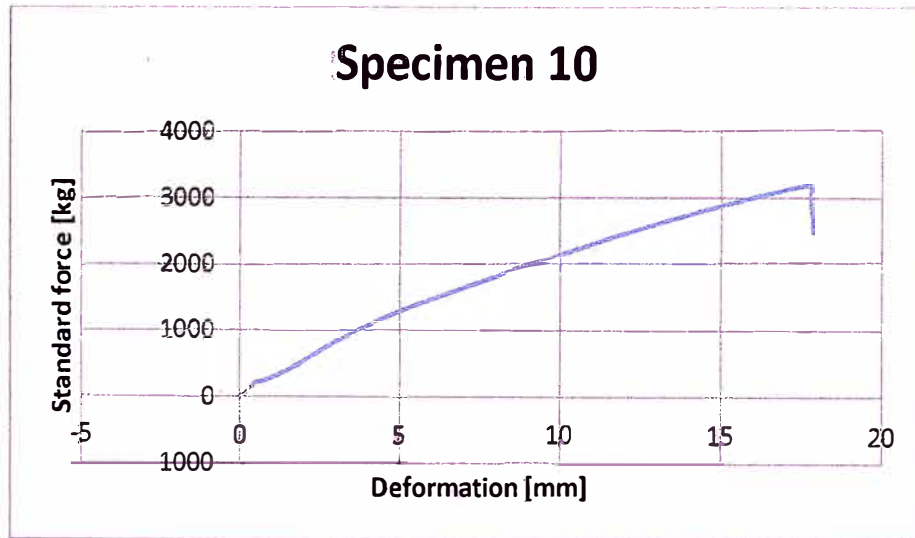
| x(mm) | v(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 4.9096661 |
| 0.00770119 | 4.61980099 |
| 0.91176659 | 278.465478 |
| 1.8368001 | 493.805642 |
| 2.72415996 | 750.489972 |
| 3.79944229 | 1032.21222 |
| 4.74431229 | 1240.02082 |
| 5.86349487 | 1447.05378 |
| 6.78886414 | 1606.07733 |
| 8.34321976 | 1871.77794 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.77984428 | 1945.42893 |
| 9.75092888 | 2105.21129 |
| 10.7284031 | 2264.04364 |
| 11.6994724 | 2418.51472 |
| 12.6766233 | 2563.11306 |
| 13.6675196 | 2702.45968 |
| 14.6508875 | 2832.82282 |
| 15.6390142 | 2960.21207 |
| 16.6779289 | 3079.76503 |
| 17.7130699 | 3179.74402 |

ESPECIMEN 11 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 9.14123087 |
| 0.01163434 | 18.0193079 |
| 0.57326847 | 289.072543 |
| 1.52534878 | 427.826866 |
| 2.41254067 | 658.34009 |
| 3.48650336 | 917.081876 |
| 4.43137312 | 1112.90672 |
| 5.55055952 | 1305.36701 |
| 6.47396374 | 1446.97183 |
| 8.02716827 | 1660.57121 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.46495819 | 1720.97426 |
| 9.43537331 | 1849.07113 |
| 10.4318485 | 1961.92563 |
| 11.4132481 | 2068.98069 |
| 12.5131168 | 2157.37973 |
| 13.5941257 | 2255.68814 |
| 14.6664543 | 2346.16047 |
| 15.7535448 | 2438.65152 |
| 16.8960018 | 2523.17863 |
| 17.3295021 | 2250.78753 |



ESPECIMEN 12 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

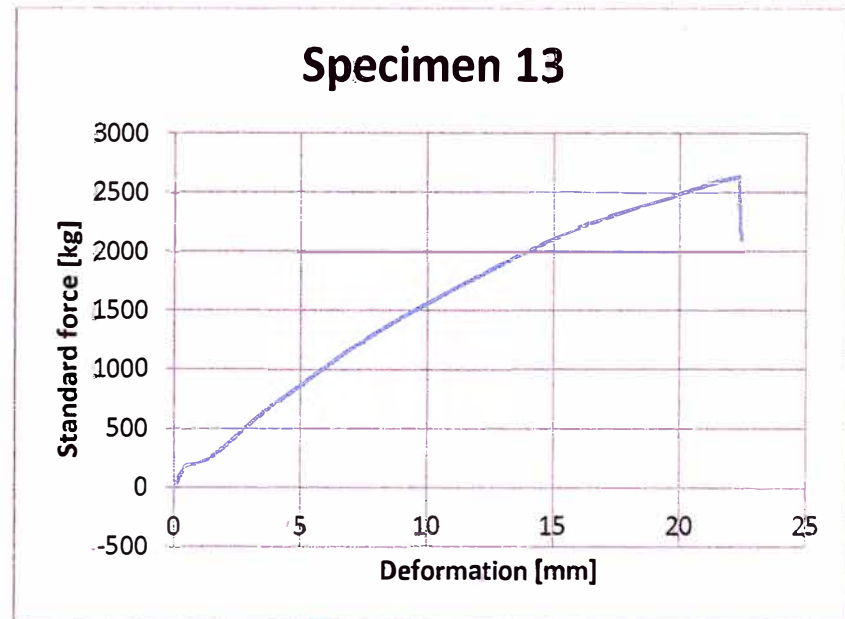
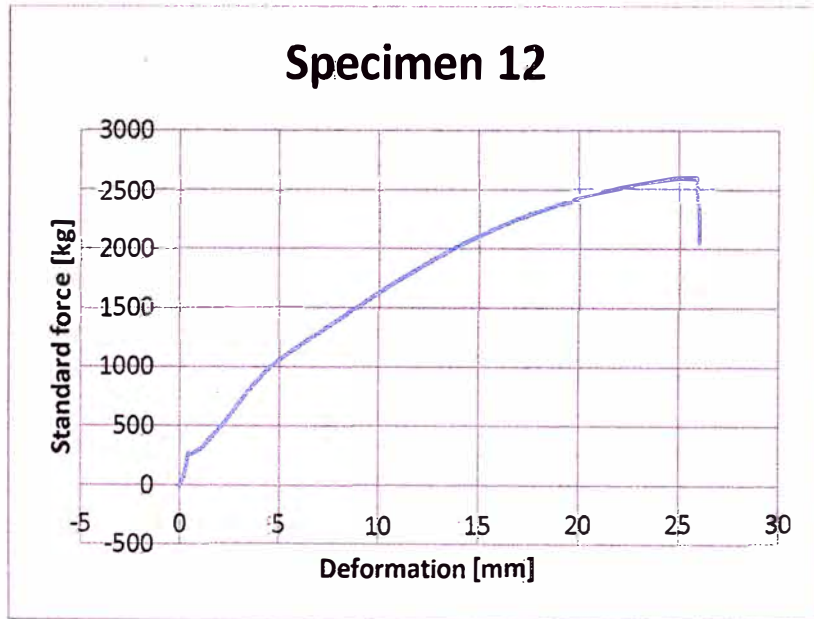
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 1.31468351 |
| 0.2904796 | 130.151227 |
| 1.49159813 | 384.982977 |
| 2.66632748 | 622.885284 |
| 3.50813961 | 810.803049 |
| 4.35060024 | 964.138592 |
| 5.51500511 | 1121.70178 |
| 6.03241539 | 1182.15979 |
| 7.2038784 | 1312.35246 |
| 8.37041283 | 1444.35632 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 8.89781284 | 1502.78825 |
| 10.2277002 | 1653.79219 |
| 11.5613642 | 1788.9009 |
| 12.9020662 | 1924.41322 |
| 14.2535868 | 2044.70627 |
| 15.6589956 | 2157.18296 |
| 17.17976 | 2263.30953 |
| 18.7367344 | 2358.53409 |
| 21.783659 | 2494.45888 |
| 25.5542755 | 2589.42672 |

ESPECIMEN 13 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 3.59722259 |
| 0.01703936 | 7.46269872 |
| 1.03447616 | 213.238145 |
| 1.96050751 | 331.094012 |
| 2.84670734 | 511.500955 |
| 3.92116976 | 705.614741 |
| 4.866539 | 849.090106 |
| 5.98589325 | 1026.4554 |
| 6.90847731 | 1166.48504 |
| 8.58210278 | 1390.18778 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.87675667 | 1545.66144 |
| 11.2551441 | 1705.7994 |
| 12.5956898 | 1852.30932 |
| 14.1719875 | 2019.53203 |
| 15.5344839 | 2157.40742 |
| 17.3305035 | 2303.74844 |
| 19.1537113 | 2435.50813 |
| 19.9583206 | 2489.32505 |
| 21.2043266 | 2577.98937 |
| 22.3918495 | 2211.90826 |



ESPECIMEN 14 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

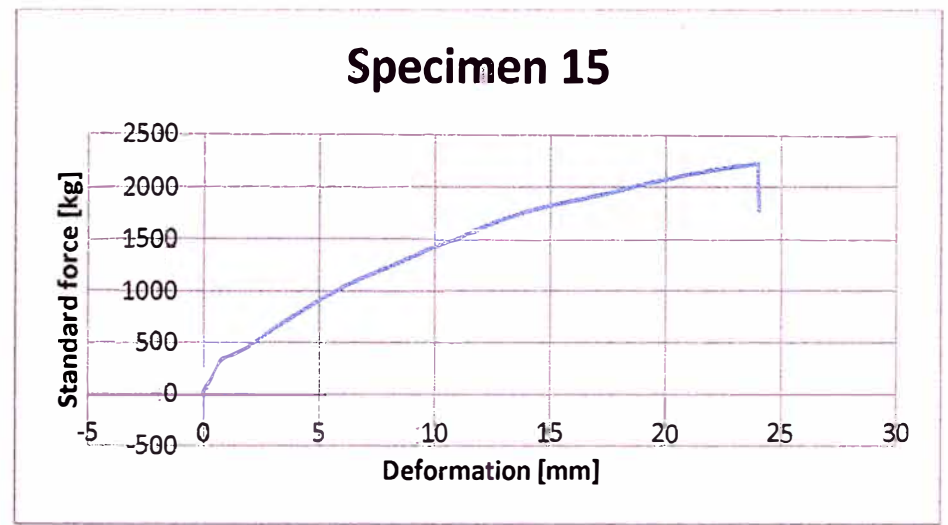
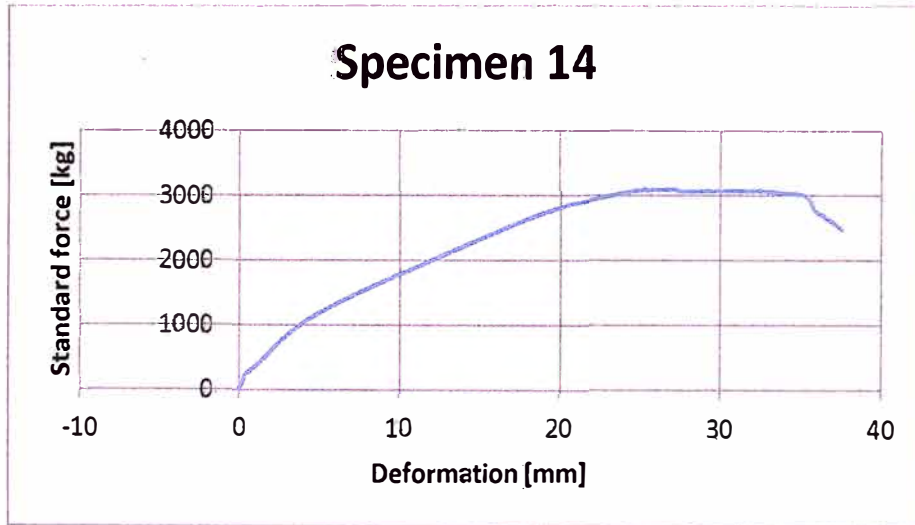
| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 14.9939252 |
| 0.55933976 | 279.162898 |
| 2.37108564 | 704.452125 |
| 4.18314981 | 1068.00535 |
| 6.02864885 | 1322.04673 |
| 7.87938309 | 1547.66084 |
| 9.73143673 | 1757.26659 |
| 11.6047754 | 1957.18853 |
| 13.4560013 | 2158.75854 |
| 15.3234577 | 2361.11346 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 17.2734852 | 2569.29091 |
| 19.1891041 | 2748.6801 |
| 21.4030666 | 2896.23045 |
| 23.7296009 | 3023.96465 |
| 26.1601639 | 3083.24342 |
| 28.6656075 | 3060.9668 |
| 31.4136829 | 3063.19444 |
| 33.9769745 | 3026.06263 |
| 36.191433 | 2713.81617 |
| 37.5439224 | 2476.05977 |

ESPECIMEN 15 – ESPESOR CENTRAL 4CM Y 3 PERNOS

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 0 | 16.1296867 |
| 0.001803 | 16.8642928 |
| 0.77593219 | 337.735611 |
| 1.74718153 | 435.333382 |
| 2.63354945 | 568.833354 |
| 3.70899963 | 734.807005 |
| 4.65435791 | 864.323711 |
| 5.77305937 | 1008.68675 |
| 6.69547462 | 1109.08239 |
| 8.38826942 | 1269.39861 |

| x(mm) | y(kg) |
|------------|------------|
| 9.69653797 | 1397.56857 |
| 11.1162157 | 1530.10937 |
| 12.5347338 | 1656.81309 |
| 14.2599764 | 1782.44821 |
| 15.9725876 | 1868.79925 |
| 18.0564728 | 1971.96446 |
| 20.047617 | 2074.70963 |
| 20.9108982 | 2114.36743 |
| 22.3977394 | 2174.27655 |
| 23.668644 | 2215.17593 |



CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos en los ensayos con la madera Cumala que corresponden a los esfuerzos admisibles tienen valores esperados con respecto con la clasificación de las maderas que se tiene en la Norma E.010. Si bien la madera Cumala no se encuentra en ninguna de las 3 clasificaciones, su densidad es inmediatamente menor a 0.40gr/cm^3 que corresponde a las maderas del grupo C. los esfuerzos resultantes también representan valores inmediatamente inferiores a los del grupo C.
- En la pág. 95 vemos que la variación de las dos cargas obtenidas de la parte experimental y la otra por el manual de diseño del grupo andino tienen una variación máxima de 62.91%. por lo que no se recomienda usar este último método para hallar la carga admisible ya que la madera cumala tiene una densidad menor a 0.40 gr/cm^3 .
- Se observa en las curvas de esfuerzo-deformación para espesores centrales de 4 cm, presentan una baja rigidez. esto puede explicarse a que para ese espesor, el diámetro del perno es pequeño con respecto a la pieza central.
- Se concluye que las cargas obtenidas para especímenes con espesores de 4 cm han sido influenciadas por el valor de esbeltez (l/d) alto ($l/d=6.3$) que según el Manual de diseño para maderas del grupo andino necesita coeficientes de reducción por esbeltez.
- De acuerdo al grafico de tendencias, mientras más pernos se encuentren en la línea de falla no se producirá un incremento lineal de la resistencia, esto debido que los pernos no resisten las mismas cargas, (No hay una distribución uniforme de esfuerzos en los pernos).
- Los resultados de la carga con respecto a la humedad indican que la resistencia es menor cuando se tiene mayor humedad. Estos resultados se observan claramente cuando se compara las resistencias obtenidas para los espesores de 2 cm y 4 cm, en las cuales el contenido de humedad es tan influyente que reduce la carga de las muestras de espesor de 4 cm.

- Para poder obtener más datos sobre la influencia de la esbeltez (l/d) y el número de pernos sobre la resistencia de uniones empernadas se necesita hacer más ensayos por cantidad de pernos, porque se observa que la tendencia se mantiene con el aumento de pernos, en cambio aumentando el diámetro de los pernos y/o la madera se logra aumentar la resistencia de las probetas.

RECOMENDACIONES

- las probetas deben de estar lo más niveladas posibles y tener las mismas dimensiones para evitar distorsiones al inicio de las curvas de esfuerzo-deformación que se producen debido a que las piezas de madera sufrirían un reacomodo. Esto se tomó en cuenta en la etapa de cálculo de fuerzas al límite proporcional.
- En estos ensayos la falla más representativa es la falla por corte ya que las áreas de los pernos es pequeño con relación al ancho de la madera. Se recomienda realizar futuros estudios con un perno inmediatamente superior para tener un comportamiento que exija al máximo a la madera en el comportamiento ante el esfuerzo por corte, como por ejemplo pernos de 1/2" de espesor.
- También queda pendiente futuros estudios en maderas empernadas y a doble cizallamiento con fuerzas perpendiculares y formando un determinado Angulo con respecto a la dirección de fibra ya que es común encontrar estructuras trabajando en dichas posiciones. Como por ejemplo armaduras, columnas y diagonales etc.
- Se recomienda usar arandelas según el diámetro del perno que se va a usar para evitar el fenómeno de esfuerzo de aplastamiento del perno con su tuerca dentro de la madera sometida a doble cizallamiento.
- Los pernos que son sometidos a esfuerzos en los experimentos realizados solo debe de usarse una vez ya que han sufrido de deformaciones internas y su comportamiento en una segunda prueba no va a reflejar la resistencia con la que fue diseñada inicialmente.

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. ASTM International. (2006). Standard test methods for mechanical fasteners in wood. ASTM D1761.
4. Centeno, J. (1983). Normas de diseño para uniones clavadas con maderas venezolanas. *IFLA, Mérida*.
5. Echavarría, C. (2007). Bolted timber joints with self-tapping screws. *Revista EIA*, (8), 37-47.
6. Espina, A. (2006). Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. *Trabajo de Titulación Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales*.
7. 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 dinámica 1991-2005.
8. Delgado, G., & Gustavo, A. (1981). Propiedades de la madera. *Universidad Nacional de los Andes. Escuela de ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela*.
9. 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).
10. Hansen, H. J. (1961). *Diseño moderno de estructuras de madera* (No. TA419 H3e).
11. JUNTA, D. A. D. C. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo andino. *Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico. Junta del acuerdo de Cartagena. Bogotá-Colombia. 600p*.
12. 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.

13. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (1981). *Evaluación del potencial forestal de la Selva Central del Perú*. Lima, Perú.
14. 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*.
15. Parker, H., Ambrose, J., & Juárez, R. A. (1972). *Diseño simplificado de estructuras de madera* (No. TA666. P37 1972.). Limusa-Wesley.
16. 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.
17. 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.
18. Reglamento Nacional De Edificaciones (2014) Lima - Perú.
19. SERFOR. (2016). *Primer Informe Parcial del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Lima, Perú. 210 p + Anexos.
20. SISMICA, A. C. D. I., Reglamento colombiano de Construcción Sismo, A. R. (2010). Resistente NSR-10. *Título G-Estructuras de madera y estructuras de guadua*. Bogotá, Colombia.
21. Solari Ruiz, Carlos C. (1971). *Estudio del comportamiento físico-mecánico y de uniones empemadas de la madera Apocynacea*. Lima UNI-FIC.
22. 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.
23. Vargas A, Raúl A. (2003). *Diseño y ensayo de uniones para cerchas de madera*, Chile.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- [24] [http://es.wikipedia.org/wiki/definicion de la madera.](http://es.wikipedia.org/wiki/definicion_de_la_madera)
- [25] [http://es.wikipedia.org/wiki/ madera con pernos.](http://es.wikipedia.org/wiki/madera_con_pernos)
- [26] [http://maderasperu.com/cumala.](http://maderasperu.com/cumala)