



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## UAC

TESIS

---

**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO  
MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE  
PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y  
HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA  
PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL”**

---

**Presentado por los bachilleres:**

DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre

LOAIZA MORA, Elvis Fernando

**Para optar el Título Profesional de Ingeniería Civil**

Asesora:

ING. MITSY ELENA GUDIEL CÁRDENAS

CUSCO-PERÚ

2016



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo:*

*Con todo amor a mi madre, Pilar Manya Zavaleta. Es a ti a quien debo toda la persona que soy. Gracias por tu guía y ejemplo durante todos los años de mi vida.*

*Con cariño y gratitud para mi padre, Marco A. Del Pezo Benavides.  
Por tus sabios consejos y tus constantes palabras de aliento para conseguir el éxito en mi vida académica y en mi vida diaria. Gracias.*

*Para mis hermanos: Sthefany por ser el motor más grande en mi vida y su apoyo constante desde el inicio de mis estudios; a Sebastian por su enorme afecto y comprensión en los momentos más difíciles y por enseñarme a perseverar y nunca darme por vencido en la vida. Gracias por estar junto a mí.*

*A todos mis familiares y amigos por su apoyo compañerismo y gratitud.  
Que me permite seguir adelante en este mundo lleno de dificultades.*

*A la memoria de mi abuelo Ángel Manya Ambur.*

*Y mis abuelos Jose Del Pezo y Augusta Benavides.*

**MARQUINHO ANDRE DEL PEZO MANYA**



*Dedico este trabajo a:*

*A Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme  
fuerzas para seguir adelante y no desmayar, enseñándome a  
encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni  
desfallecer en el intento.*

*A mis padres por su apoyo incondicional, mi madre Diana  
Mora Tupa quien ha dado todo lo que soy como persona,  
mis valores, mis principios, mi coraje para seguir adelante.*

*Mi padre, Fernando Loaiza Zanabria quien con su gran  
amor ha dado todas sus fuerzas para verme conseguir mis  
objetivos y mi hermana, Liseth por su apoyo durante todo  
este proceso.*

*A mi amigo hermano Marquinho por su apoyo y gratitud  
durante todo este tiempo de amistad.*

*ELVIS FERNANDO LOAIZA MORA*



## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente expresamos nuestro agradecimiento a DIOS, por estar siempre a nuestro lado acompañándonos y guiándonos en cada uno de nuestro obrar en esta vida y su amor eterno.

También expresamos nuestro profundo y sincero agradecimiento a nuestra asesora: Ing. MITSY ELENA GUDIEL CARDENAS por su desinteresada colaboración y su asistencia permanente para el desarrollo del presente proyecto profesional; al brindarnos su tiempo y aportes basados en su bien lograda experiencia con gran esfuerzo, los que nos impulsa a seguir su digno ejemplo.

Así mismo hacemos un especial reconocimiento y agradecimiento a cada uno de nuestros Docentes que durante años de estudio nos enseñaron con esmero la esencia de esta hermosa profesión: Ingeniería Civil y de manera muy especial al Ing. Daniel Gustavo Ccori Salazar encargado del laboratorio de la Universidad Andina del Cusco el cual nos ayudó a entender de mejor manera la utilización de cada equipo empleada en esta tesis y al Ing. Herber Gutierrez Vallejo.

No podemos obviar, nuestro especial reconocimiento y agradecimiento a nuestra alma mater, Universidad Andina del Cusco, en la cual está representada la Facultad de Ingeniería Civil.

De igual manera agradecer a Albert Tapia Conza, Fabricio Ferro Romero, Merly Quispe Amudio, Hugo Puma Chacon y Cesar Luna Vera, amigos nuestros que nos apoyaron en la realización de esta tesis.

A nuestros familiares, que hicieron posible la culminación de nuestra carrera y con su apoyo moral para en el desarrollo y culminación del presente proyecto Profesional.

***Marquinho Del Pezo Manya y Elvis Loaiza Mora***



## RESUMEN

La presente tesis se enmarca en la ciudad de Cusco, la investigación tiene por objetivo evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera Eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en dos contenidos de humedad, los cuales fueron natural y seco.

Las propiedades físico-mecánicas que se ensayaron fueron: Densidad básica, Cizallamiento paralelo al grano, Compresión axial o paralela al grano, Compresión perpendicular y Flexión estática, para lo cual se utilizó un total de 200 probetas elaboradas de 5 árboles extraídos de la zona de Paruro-Cusco, se utilizaron 20 probetas por ensayo dando un total de 100 probetas por contenido de humedad seco y 100 probetas por contenido de humedad natural.

Las dimensiones de cada probeta se realizaron de acuerdo a lo estipulado en las Normas Técnicas Peruanas, y se verifico que estuvieran libres de defectos antes de cada ensayo, los porcentajes de humedad utilizados fueron: para contenido de humedad seco 12% y para contenido de humedad natural mayor a 30%.

Se utilizó criterios estadísticos, entre ellos Chauvenet el cual sirvió para aprobar o descartar los datos obtenidos, también se utilizó un límite de exclusión al 5%; para obtener este dato representativo, se utilizó la función probabilística Student (t) a un percentil 5 a un nivel de confianza del 95%.

En función a los resultados obtenidos, en el capítulo IV se presentan las conclusiones y recomendaciones, demostrándose que el Eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco tiene las características para poder ser empleado estructuralmente, cabe resaltar que los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos para el Eucalipto Globulus en su contenido de seco fueron superior a los resultados obtenidos en su contenido de humedad natural, clasificando al Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco en el grupo "A" y al Eucalipto Globulus con contenido de humedad natural en el grupo "B", según lo prescrito en la Norma Técnica Peruana E.010.



## ABSTRACT

This thesis takes place in the city of Cusco; the research aims to evaluate the physical-mechanical properties of Eucalyptus Globulus wood from the area-Cusco-Paruro in two moisture content samples, which were natural and dry.

The physical-mechanical properties tested were: Basic density, axial Compression or parallel to grain Compression, Compression perpendicular and static bending, for which a total of 200 samples were used, gathered from 5 trees extracted from the area of Paruro-Cusco, 20 samples were used per test for a total of 100 samples by dry moisture content and 100 samples by natural moisture content.

The dimensions of each sample were made in accordance with the Peruvian Technical Standards, and found to be free from defects before each test, moisture percentages used were: for content of dry humidity 12% and for moisture content naturally greater than 30%.

Statistical criteria was used, including Chauvenet which served to approve or discard the obtained data, an exclusion limit was also used to 5%; to obtain this representative data, the probability function Student (t) was used to a 5th percentile confidence level to 95%.

According on the results obtained in chapter IV the conclusions and recommendations are presented, showing that the Eucalyptus Globulus area Paruro-Cusco has the characteristics to be used structurally, it should be noted that the results of mechanical tests for Eucalyptus Globulus in its content of dry were superior to the results obtained in its natural moisture content, classifying the Eucalyptus Globulus containing dry moisture in the group "A" and Eucalyptus Globulus with natural moisture content in the group "B" according to the Peruvian Technical Rule's standards. E.010.



## INTRODUCCIÓN

La madera es un material anisotrópico proveniente de los árboles, este es el hecho más importante para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posee pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene.

Históricamente es uno de los materiales más utilizados por el hombre, sin embargo con la invención del acero y el concreto en construcción se desplazó su importancia. En este momento debido a factores medioambientales y económicos se está promoviendo estratégicamente el uso de materiales como la madera que tengan un comportamiento estructural aceptable, sean económicos y visualmente agradables, con la ventaja adicional que la madera es un material renovable y biodegradable.

La presente investigación consiste en la determinación de las propiedades físico mecánicas del Eucalipto Glóbulos proveniente del sector de Paruro Cusco, que permitirán reivindicar su importancia y tener un registro cuantificable de las características de la especie, evitando así la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas, cuando existen otras de características similares. De esta manera se podrá dar a conocer su calidad y a partir de esta, asignar una mejor utilización como material estructural.

Las propiedades físico-mecánicas que se determinaron fueron: densidad básica, flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano y corte o cizallamiento paralelo al grano, todo esto para contenido de humedad seco y humedad natural. Los contenidos de humedad estudiados están dirigidos a la forma de comercialización de nuestra región por lo cual, se utilizaron 100 probetas para los ensayos con contenido de humedad natural y 100 probetas para los ensayos con contenido de humedad seco. Estos ensayos se realizaron en la Universidad Andina del Cusco.

Los valores obtenidos por los ensayos mencionados para ambos casos de humedad fueron evaluados con la norma técnica peruana E.010 para su uso estructural de forma normada y su tentativo agrupamiento de acuerdo a las propiedades obtenidas.



**INDICE GENERAL**

**CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1**

**1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1**

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA..... 1

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ..... 1

1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA..... 1

1.1.2.1 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL ..... 1

1.1.2.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA ESPECÍFICO..... 1

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 2

1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA ..... 2

1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL..... 3

1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIALIDAD ..... 3

1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA..... 4

1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 4

1.3.1 LIMITACIONES DE LUGAR ..... 4

1.3.2 LIMITACIONES DE MATERIALES ..... 4

1.3.3 LIMITACIONES DE ENSAYOS ..... 4

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 4

1.4.1 OBJETIVO GENERAL ..... 4

1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO..... 5

1.5 HIPÓTESIS ..... 5

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL..... 5

1.5.2 SUB HIPÓTESIS ..... 5

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES ..... 6

1.6.1 VARIABLES INDEPENDIENTES..... 6





1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES ..... 6

1.6.3 INDICADORES INDEPENDIENTES..... 6

1.6.4 INDICADORES DEPENDIENTES ..... 7

1.6.5 CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES ..... 8

**CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 10**

**2. MARCO TEÓRICO ..... 10**

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ACTUAL ..... 10

2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL ..... 10

2.1.3 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL ..... 10

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES ..... 11

2.2.2 GENERALIDADES DE LA MADERA ..... 11

2.2.2.1 CONCEPTOS GENERALES DE LA MADERA ..... 11

2.2.2.2 LA ANATOMÍA DE LA MADERA ..... 12

2.2.2.3 PARTES DE LA MADERA ..... 14

2.2.2.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA ..... 15

2.2.2.4.1 APEO CORTE Y TALA ..... 15

2.2.2.4.2 SECADO ..... 16

2.2.2.4.2.1 SECADO AL AIRE ..... 16

2.2.2.4.2.2 SECADO CONVENCIONAL EN HORNO ..... 17

2.2.2.4.2.2.1 DEFECTOS POR SECADO ..... 17

2.2.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA ..... 18

2.2.2.6 RECURSO FORESTAL ..... 18

2.2.2.7 AGRUPACIÓN DE MADERAS EN GRUPOS ESTRUCTURALES ..... 20

2.2.3 PROPIEDADES DE LA MADERA ..... 22

2.2.3.1 PROPIEDADES BÁSICAS ..... 22

2.2.3.1.1 MATERIAL BIOLÓGICO ..... 22



- 2.2.3.1.2 MATERIAL ANISOTRÓPICO ..... 22
- 2.2.3.1.3 MATERIAL HIGROSCÓPICO ..... 24
- 2.2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS ..... 24
  - 2.2.3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD ..... 24
  - 2.2.3.2.2 DENSIDAD DE LA MADERA ..... 26
  - 2.2.3.2.3 CONTRACCIÓN DE LA MADERA ..... 27
  - 2.2.3.2.4 HINCHAMIENTO DE LA MADERA ..... 29
  - 2.2.3.2.5 HENDIBILIDAD..... 29
  - 2.2.3.2.6 DUREZA..... 30
- 2.2.3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS..... 30
  - 2.2.3.3.1 ENSAYOS ..... 32
    - 2.2.3.3.1.1 COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 32
    - 2.2.3.3.1.2 COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO ..... 33
    - 2.2.3.3.1.3 FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 34
    - 2.2.3.3.1.4 CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 35
    - 2.2.3.3.1.5 TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS ..... 35
    - 2.2.3.3.1.6 MODULO DE ELASTICIDAD (MOE)..... 36
  - 2.2.3.3.4 GEOMETRÍA DE UNA PIEZA DE MADERA ..... 37
  - 2.2.3.3.5 FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS..... 38
    - 2.2.3.3.5.1 DEFECTOS DE LA MADERA ..... 38
      - 2.2.3.3.5.1.1 DEFECTOS PROPIOS DE LA MADERA..... 39
        - 2.2.3.3.5.1.1.1 NUDOS SUELTOS ..... 39
        - 2.2.3.3.5.1.1.2 RAJADURAS ..... 40
        - 2.2.3.3.5.1.1.3 GRIETAS ..... 40
        - 2.2.3.3.5.1.1.4 FIBRA INCLINADA ..... 41
        - 2.2.3.3.5.1.1.5 PERFORACIÓN..... 41



2.2.3.5.1.1.6 ALABEOS ..... 41

2.2.3.5.1.1.7 COLAPSO..... 42

2.2.3.5.1.1.8 CANTO MUERTO..... 42

2.2.4 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ..... 42

2.2.5 PATOLOGÍA DE LA MADERA..... 43

2.2.5.1 GENERALIDADES ..... 43

2.2.5.2 AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA..... 44

2.2.5.2.1 AGENTES ABIÓTICOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA ..... 44

2.2.5.2.1.1 DAÑOS PRODUCIDOS POR EL AGUA ..... 44

2.2.5.2.1.2 DAÑOS PRODUCIDOS POR VARIACIONES DE TEMPERATURA ..... 44

2.2.5.2.2 AGENTES BIÓTICOS DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA ..... 45

2.2.6 TEORÍA DE RESISTENCIA DE MATERIALES ..... 46

2.2.6.1 ESFUERZOS NORMALES ..... 46

2.2.6.2 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN..... 46

2.2.6.3 LEY DE HOOKE ..... 47

2.2.6.4 MODULO DE ELASTICIDAD ..... 47

2.2.6.5 ESFUERZO CORTANTE O CIZALLAMIENTO..... 48

2.2.7 CRITERIOS ESTADÍSTICOS ..... 48

2.2.7.1 MEDIA ARITMÉTICA ..... 48

2.2.7.2 VARIANZA ..... 49

2.2.7.3 DESVIACIÓN ESTÁNDAR ..... 49

2.2.7.4 COEFICIENTE DE VARIACIÓN ..... 50

2.2.7.5 CRITERIO DE CHAUVENET ..... 50

2.2.7.6 VALOR REPRESENTATIVO DE LA MUESTRA ..... 51

2.2.7.6.1 PRUEBA DE T DE STUDENT ..... 51



**CAPITULO III: METODOLOGÍA..... 52**

**3. METODOLOGÍA..... 52**

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... 52

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 52

3.1.1.1 POR SU FINALIDAD ..... 52

3.1.1.2 POR SU ENFOQUE ..... 52

3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN ..... 52

3.1.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN ..... 52

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ..... 53

3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO..... 53

4. DISEÑO DE INGENIERÍA..... 54

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA..... 55

3.3.1 POBLACIÓN ..... 55

3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN..... 55

3.3.1.1.1 POBLACIÓN..... 55

3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN ..... 55

3.3.2 MUESTRA ..... 55

3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ..... 55

3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA..... 55

3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO ..... 55

3.3.2.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA..... 56

3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN ..... 59

3.3.3.1 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL . 59

3.3.3.2 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 59

3.4 INSTRUMENTOS..... 60

3.4.1 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... 60

3.4.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERIA..... 71



3.5 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 71

3.5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LAS PROBETAS  
71

3.5.1.1 SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS (NTP 251.008)  
71

3.5.1.1.1 OBJETIVO..... 71

3.5.1.1.2 EQUIPOS ..... 71

3.5.1.1.3 PROCEDIMIENTOS..... 72

3.5.1.2 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE  
HUMEDAD (NTP 251.009)..... 75

3.5.1.2.1 OBJETIVO..... 75

3.5.1.2.2 EQUIPOS ..... 75

3.5.1.2.3 PROCEDIMIENTO ..... 75

3.5.1.3 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (NTP 251.011)  
77

3.5.1.3.1 OBJETIVO..... 77

3.5.1.3.2 EQUIPOS ..... 77

3.5.1.3.3 PROCEDIMIENTO ..... 77

3.5.1.3.4 TOMA DE DATOS..... 80

3.5.1.4 MÉTODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO  
PARALELO AL GRANO (NTP 251.013) ..... 82

3.5.1.4.1 OBJETIVO..... 82

3.5.1.4.2 EQUIPOS ..... 82

3.5.1.4.3 PROCEDIMIENTO ..... 82

3.5.1.5 MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN AXIAL O  
PARALELA AL GRANO (NTP 251.014)..... 87

3.5.1.5.1 OBJETIVO..... 87

3.5.1.5.2 EQUIPOS ..... 87



- 3.5.1.5.3 PROCEDIMIENTO ..... 87
- 3.5.1.5.4 TOMA DE DATOS ..... 90
- 3.5.1.6 MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (NTP 251.016) ..... 92
  - 3.5.1.6.1 OBJETIVO ..... 92
  - 3.5.1.6.2 EQUIPOS ..... 92
  - 3.5.1.6.3 PROCEDIMIENTO ..... 92
  - 3.5.1.6.4 TOMA DE DATOS ..... 95
- 3.5.1.7 MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA (NTP 251.017) ..... 97
  - 3.5.1.7.1 OBJETIVO ..... 97
  - 3.5.1.7.2 EQUIPOS ..... 97
  - 3.5.1.7.3 PROCEDIMIENTO ..... 97
  - 3.5.1.7.4 TOMA DE DATOS ..... 100
- 3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS ..... 102
  - 3.6.1 DENSIDAD ..... 103
    - 3.6.1.1 DENSIDAD BÁSICA ..... 103
      - 3.6.1.1.1 ANÁLISIS DE DENSIDAD BÁSICA PARA 40 PROBETAS ..... 103
  - 3.6.2 CIZALLAMIENTO ..... 111
    - 3.6.2.1 CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 111
      - 3.6.2.1.1 ANÁLISIS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 111
      - 3.6.2.1.2 ANÁLISIS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 117
  - 3.6.3 COMPRESIÓN ..... 123
    - 3.6.3.1 COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO ..... 123



3.6.3.1.1 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 123

3.6.3.1.2 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN AXIAL PARALELA AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 132

3.6.3.2 COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO..... 141

3.6.3.2.1 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 141

3.6.3.2.2 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 148

3.6.4 FLEXIÓN..... 157

3.6.4.1 FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 157

3.6.4.1.1 ANÁLISIS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 157

3.6.4.1.2 ANÁLISIS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO..... 164

**CAPITULO IV: RESULTADOS ..... 173**

**5. RESULTADOS ..... 173**

5.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS..... 173

4.1.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS.. 173

4.1.1.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA ..... 173

4.1.2 RESULTADO DE ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS  
173

4.1.2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 173

4.1.2.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO ..... 175

4.1.2.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 178



4.1.2.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .... 181

**CAPITULO V: DISCUSIÓN ..... 184**

**GLOSARIO..... 189**

**CONCLUSIONES..... 193**

**RECOMENDACIONES..... 195**

**REFERENCIAS ..... 197**

**ANEXOS ..... 199**





**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES..... 8

TABLA 2 PRODUCCIÓN SEGÚN DEPARTAMENTO ..... 20

TABLA 3 ESFUERZOS ADMISIBLES..... 21

TABLA 4 CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA ..... 25

TABLA 5 CONTRACCIÓN DE LA MADERA SECADA AL AIRE Y EN CÁMARA..... 28

TABLA 6 MÓDULOS DE ELASTICIDAD ..... 37

TABLA 7 CONDICIONES DE DESARROLLO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE AGENTES BIÓTICOS ... 45

TABLA 8 COEFICIENTES DE REDUCCIÓN, SEGURIDAD Y DURACIÓN DE CARGA..... 58

TABLA 9 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA DE PROBETAS ..... 58

TABLA 10 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD ..... 60

TABLA 11 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA..... 61

TABLA 12 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA..... 62

TABLA 13 RECOLECCIÓN DE DATOS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR..... 63

TABLA 14 RECOLECCIÓN DE DATOS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR..... 64

TABLA 15 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 65

TABLA 16 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 66

TABLA 17 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO.. 67

TABLA 18 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO.. 68

TABLA 19 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA ..... 69

TABLA 20 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA ..... 70

TABLA 21 DATOS DENSIDAD BÁSICA (PROBETAS 1-20) ..... 80

TABLA 22 DATOS DENSIDAD BÁSICA (PROBETA 21-40) ..... 81

TABLA 23 DATOS CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 85

TABLA 24 DATOS CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL 86

TABLA 25 DATOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO..... 90

TABLA 26 DATOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ... 91

TABLA 27 DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO  
..... 95

TABLA 28 TABLA 22 DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD  
NATURAL ..... 96

TABLA 29 DATOS FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 100

TABLA 30 DATOS FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL..... 101



TABLA 31 ANÁLISIS DE DENSIDAD BÁSICA ..... 104

TABLA 32 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DENSIDAD BÁSICA ..... 105

TABLA 33 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DE DENSIDAD BÁSICA ..... 106

TABLA 34 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS PARA DENSIDAD BÁSICA CORREGIDOS ... 108

TABLA 35 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BÁSICA CORREGIDOS ..... 109

TABLA 36 ANÁLISIS DE DATOS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)..... 112

TABLA 37 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO) ..... 113

TABLA 38 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)..... 114

TABLA 39 ANÁLISIS DE DATOS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO) ..... 118

TABLA 40 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO)..... 119

TABLA 41 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO) ..... 120

TABLA 42 ANÁLISIS DE DATOS DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)..... 124

TABLA 43 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (HÚMEDO) ..... 125

TABLA 44 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE PERPENDICULAR PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)..... 126

TABLA 45 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HÚMEDO) CORREGIDOS ..... 128

TABLA 46 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HÚMEDOS) CORREGIDOS..... 129

TABLA 47 ANÁLISIS DE DATOS DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (SECO) ..... 133

TABLA 48 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (SECO)..... 134

TABLA 49 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (SECO)..... 135

TABLA 50 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (SECO) CORREGIDOS..... 137

TABLA 51 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (SECO) CORREGIDOS..... 138

TABLA 52 ANÁLISIS DE DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR (HÚMEDO)..... 142

TABLA 53 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (HÚMEDO).. 143

TABLA 54 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (HÚMEDO) ..... 144

TABLA 55 ANÁLISIS DE DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECO) ..... 149



TABLA 56 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (SECO) ..... 150

TABLA 57 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (SECO)..... 151

TABLA 58 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECOS) CORREGIDOS ..... 153

TABLA 59 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECO) CORREGIDOS..... 154

TABLA 60 ANÁLISIS DE DATOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO)..... 158

TABLA 61 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO) ..... 159

TABLA 62 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO) ..... 160

TABLA 63 ANÁLISIS DE DATOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO) ..... 165

TABLA 64 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO) ..... 166

TABLA 65 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO) ..... 167

TABLA 66 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO) CORREGIDOS 169

TABLA 67 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR FLEXIÓN ESTÁTICA (SECOS) CORREGIDO ..... 170

TABLA 68 CUADRO RESUMEN DE DENSIDAD BÁSICA ..... 173

TABLA 69 CUADRO RESUMEN DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 173

TABLA 70 CUADRO RESUMEN DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 174

TABLA 71 CUADRO COMPARATIVO DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO... 174

TABLA 72 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 175

TABLA 73 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 175

TABLA 74 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 176

TABLA 75 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO ..... 176

TABLA 76 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO..... 177



TABLA 77 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO..... 177

TABLA 78 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO..... 178

TABLA 79 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 178

TABLA 80 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 179

TABLA 81 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 179

TABLA 82 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 180

TABLA 83 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 180

TABLA 84 CUADRO RESUMEN DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 181

TABLA 85 CUADRO RESUMEN DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO 181

TABLA 86 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 182

TABLA 87 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE FLEXIÓN ESTÁTICA . 182

TABLA 88 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE FLEXIÓN ESTÁTICA..... 183

TABLA 89 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE FLEXIÓN ESTÁTICA..... 183



**ÍNDICE DE FIGURA**

FIGURA 1 PARTES DE LA MADERA..... 14

FIGURA 2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA ..... 15

FIGURA 3 SECADO DE MADERA AL AIRE..... 17

FIGURA 4 SENTIDOS DEL EJE DEL ÁRBOL..... 23

FIGURA 5 EJE TANGENCIAL DE UNA PIEZA DE MADERA ..... 23

FIGURA 6 EJE RADIAL DE UNA PIEZA DE MADERA ..... 23

FIGURA 7 EJE LONGITUDINAL EN UNA PIEZA DE MADERA..... 24

FIGURA 8 MADERA SOBRE EL PSF. PRESENCIA DE AGUA LIBRE Y AGUA LIGADA ..... 26

FIGURA 9 MADERA VERDE Y MADERA SECA..... 27

FIGURA 10 EFECTOS DE LA CONTRACCIÓN EN LA MADERA. .... 29

FIGURA 11 CARGA-DEFORMACIÓN ..... 31

FIGURA 12 ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO..... 32

FIGURA 13 ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO..... 33

FIGURA 14 ESQUEMA DE ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 34

FIGURA 15 ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS..... 35

FIGURA 16 ESQUEMA DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS ..... 36

FIGURA 17 TÉRMINOS RELATIVOS A LA GEOMETRÍA DE UNA PIEZA..... 38

FIGURA 18 MEDICIÓN DE AGUJERO Y/O NUDO SUELTO EN EL BORDE..... 39

FIGURA 19 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA ZONA AFECTADA POR LA RAJADURA ..... 40

FIGURA 20 MEDICIÓN DE GRIETAS ..... 40

FIGURA 21 MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA..... 41

FIGURA 22 Acanaladura, alabeo de las caras en la dirección..... 41

FIGURA 23 MEDICIÓN DE LA ARISTA FALTANTE O CANTO MUERTO..... 42

FIGURA 24 ESFUERZOS SIMPLES ..... 46

FIGURA 25 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN ..... 47

FIGURA 26 DIAGRAMA DE MODULO DE ELASTICIDAD..... 47

FIGURA 27 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN ..... 48

FIGURA 28 UBICACIÓN DE YAURISQUE ..... 72

FIGURA 29 SELECCIÓN DE LA SUB ZONA ..... 73

FIGURA 30 MEDICIÓN DE LAS ARBOLES ..... 73

FIGURA 31 TRASLADO DE UN GRUPO DE TROZAS ..... 74

FIGURA 32 CORTE DE LAS PROBETAS ..... 74



FIGURA 33 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN UNA PROBETA ..... 75

FIGURA 34 CONTENIDO DE HUMEDAD SECO EN UNA PROBETA..... 76

FIGURA 35 CONTENIDO DE HUMEDAD SECO EN UNA PROBETA CUADRADA..... 76

FIGURA 36 PESADO DE LAS PROBETAS EN ESTADO NATURAL ..... 77

FIGURA 37 MEDICIÓN DE HUMEDAD..... 78

FIGURA 38 PROBETAS EN ESTADO ANHIDRO ..... 78

FIGURA 39 PROBETAS DE DENSIDAD DESPUÉS DEL SECADO AL HORNO ..... 79

FIGURA 40 PROBETA PESADA DESPUÉS DEL SECADO AL HORNO ..... 79

FIGURA 41 MEDIDAS PARA LAS PROBETAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO..... 82

FIGURA 42 PESADO DE LA PROBETA N° 1 CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ..... 83

FIGURA 43 SECADO DE LAS PROBETAS AL HORNO..... 83

FIGURA 44 MAQUINA DE ENSAYO DE CIZALLAMIENTO JUNTO CON LOS ACCESORIOS ..... 84

FIGURA 45 PESADO DE LA PROBETA N° 15 SECA..... 87

FIGURA 46 MEDICIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD SECO DE LA PROBETA N° 15 ..... 88

FIGURA 47 PROBETA N° 15 HÚMEDA LISTA PARA ENSAYAR..... 89

FIGURA 48 PROBETAS HÚMEDAS Y SECAS DESPUÉS DE ENSAYARLAS ..... 89

FIGURA 49 PROBETAS CON CORTE PERPENDICULAR AL GRANO ..... 92

FIGURA 50 PROBETAS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR LLEVADAS AL HORNO..... 93

FIGURA 51 ACONDICIONAMIENTO DE LA MAQUINA PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR..... 94

FIGURA 52 PESADO DE PROBETAS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA..... 97

FIGURA 53 PROBETAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA SECADAS AL HORNO..... 98

FIGURA 54 EQUIPO UNIVERSAL PARA ENSAYOS DE MATERIALES ACONDICIONADA PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA..... 99

FIGURA 55 DATOS DE LA PROBETA UTILIZADAS PARA LA FORMULA DE ESFUERZO AL CORTE EN CIZÁLLENLO ..... 111

FIGURA 56 DATOS DE LA PROBETA UTILIZADAS PARA LA FORMULA DE ESFUERZO AL CORTE EN CIZÁLLENLO ..... 117

FIGURA 57 TABLA DE STUDENT (t) ..... 199

FIGURA 58 SELECCIÓN DEL BLOQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ARBOLES..... 200

FIGURA 59 SELECCIÓN Y RECONOCIENDO DE LA ZONA DE PARURO..... 200

FIGURA 60 SELECCIÓN DE ARBOLES CON DIÁMETROS APLICADOS AL CRITERIOS DE LA NTP E.010. DEL EUCALIPTO GLOBULUS ..... 201

FIGURA 61 CORTE DE EUCALIPTO GLOBULUS SELECCIONADO ..... 201



FIGURA 62 MEDICIÓN DE PARTES DEL ÁRBOL A SER TROZADAS ..... 202

FIGURA 63 CORTE Y EXTRACCIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS..... 202

FIGURA 64 CORTE Y EXTRACCIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS EN DIFERENTES ZONAS ..... 203

FIGURA 65 TRASLADO DEL EUCALIPTO GLOBULUS CORTADOS Y TROZADOS ..... 203

FIGURA 66 TRASLADO DE LAS TROZAS PARA SER LLEVADAS AL CUSCO ..... 204

FIGURA 67 TROZAS SELECCIONADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE PROBETAS ..... 204

FIGURA 68 PESO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DENSIDAD BASICA ..... 205

FIGURA 69 MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE PROBETA DE DENSIDAD BASICA .. 205

FIGURA 70 PROBETAS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR LISTAS PARA SER SECADAS AL HORNO ..... 206

FIGURA 71 PROBETAS SECADAS EN EL HORNO A 110°C ..... 206

FIGURA 72 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO E INSTALACIÓN DEL RELOJ COMPARADOR ..... 207

FIGURA 73 PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO..... 207

FIGURA 74 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 208

FIGURA 75 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ..... 208

FIGURA 76 MEDICIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 209

FIGURA 77 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO..... 209

FIGURA 78 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PROBETA NUMERO 10 SECA ..... 210

FIGURA 79 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA ..... 210

FIGURA 80 PROBETA NUMERO 15 HÚMEDA ENSAYADA A FLEXIÓN ESTÁTICA..... 211

FIGURA 81 PROBETAS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO SECADAS AL HORNO ..... 211

FIGURA 82 PESADO DE PROBETA PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 212

FIGURA 83 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE PROBETAS PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 212

FIGURA 84 PROBETAS PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO..... 213

FIGURA 85 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 213

FIGURA 86 PROBETA ENSAYADAS A CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO ..... 214



FIGURA 87 FALLO DE LA PROBETA N° 10 ENSAYADA A CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO 214

FIGURA 88 ENSAYO DE CIZALLAMIENTO AL GRANO, CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL INGENIERO ENCARGADO DE LABORATORIO ..... 215

FIGURA 89 SECADO AL HORNO DE PROBETAS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 215

FIGURA 90 MEDICIÓN DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ..... 216

FIGURA 91 PROBETA ENSAYADA A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO..... 216

FIGURA 92 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS PROBETAS ENSAYADOS A COMPRESIÓN PARALELA..... 217

FIGURA 93 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS PROBETAS DE DENSIDAD BÁSICA ..... 217

FIGURA 94 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LA FALLA EN LA PROBETA DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR..... 218

FIGURA 95 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN PARALELA ..... 218





## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la región del Cusco se posee 116,754.53 Ha. boscosas con una variedad de especies maderables, la explotación es puramente selectiva y recae en tres especies: Tornillo, Cedro y Eucalipto.

El número de especies utilizadas, está restringida por factores como el limitado conocimiento de sus propiedades físico - mecánicas las cuales restringen sus aplicaciones en el ámbito estructural.

Actualmente el uso de la madera en la construcción está abocada en vigas, columnas, pilares y cerchas de forma empírica. Estudios sobre este material, resultan de gran valor para el consumidor, la industria maderera y para el uso de diseños estructurales hechos con este material contando con un registro de sus propiedades físico-mecánicas, sino también la explotación sostenible reduciendo el impacto ambiental generando el uso alternativo de otras especies maderables.

##### **1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA**

###### **1.1.2.1 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL**

¿En qué medida las propiedades físico-mecánicas de la madera eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural clasifican para su uso estructural evaluado con la norma técnica peruana E.010?

###### **1.1.2.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA ESPECÍFICO**

- **PROBLEMA ESPECIFICO N°1**



¿En qué medida las propiedades físicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural cumplirán para su uso estructural?

- **PROBLEMA ESPECIFICO N°2**

¿En qué medida las propiedades mecánicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural cumplirán para su uso estructural?

- **PROBLEMA ESPECIFICO N°3**

¿Cuál será el grupo en el que clasificará el Eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural en los grupos que propone la norma técnica peruana E.010?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

El siguiente trabajo de investigación se realiza para poder tener un alcance real de las características físicas mecánicas del Eucalipto Globulus, obteniendo así un registro cuantificable de los parámetros de esfuerzos admisibles de dicho material para su uso estructuralmente normado y obtener su máxima eficiencia en construcción, teniendo en cuenta que la ciudad del Cusco presenta una demanda de la madera en abundancia, de fácil traslado y a bajo costo. Contribuyendo a la biodiversidad forestal en la región proponiendo el uso alternativo del Eucalipto Globulus, uno de los principales factores es el incremento de construcciones con parámetros regidos por las normas peruanas. Dada la situación nos vemos en la necesidad de evaluar las características físico-mecánicas del Eucalipto Glóbulos con contenido de humedad seco y húmedo natural y así también clasificarlo como material estructural, mediante ensayos de laboratorios debidamente normados por lo que rige el reglamento peruano, para tener parámetros de seguridad los cuales nos ayudaran a tener un mejor control y uso de dicho material.



### **1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

En la medida que las características resistentes de la madera sean difundidas, el primer grupo beneficiario serán los alumnos de ingeniería civil de la Universidad Andina del Cusco al contar con una guía y registro informativo de del proceso de agrupamiento del Eucalipto Globulus, esta investigación también trata de dar una herramienta de información sobre las características de dicha madera para la comunidad de ingenieros y población siendo esta el segundo grupo beneficiario, la ampliación del conocimiento de las características de un material tan abundante en la zona favorecerá para proveerles una herramienta de información actualizada sobre dicha madera, y en la medida que este estudio se socialice a pobladores y a los distribuidores menores los cuales tendrán libre acceso a dicha información. La investigación adecuada hará que la madera vuelva a retomar un papel importante en la construcción de viviendas a favor de familias de clase media a baja. Tener parámetros de resistencia del material ayuda también a su adecuado uso, la seguridad del usuario al implementarla en su estructura y su máxima eficiencia hacia este.

### **1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIALIDAD**

Los ensayos a realizar están normados y basados en la E 010 Norma Técnica Peruana, los tesisas de dicha investigación asumen toda la inversión en tiempo y económicamente, la Universidad Andina del Cusco facilitara los equipos y ensayos en caso se necesite de laboratorios externos se podrá complementar los ensayos restantes.

Económicamente es viable la adquisición de los materiales ya que el valor de venta no es muy alto además que se puede encontrar la variedad de madera requerida (eucalipto) en gran cantidad y de distintos distribuidores artesanales. La zona tentativa para la extracción no se encuentra muy lejos de la ciudad del Cusco y el traslado de las muestras no traerá mayor inconveniente ya que se cuenta con vías para su fácil acceso.



#### **1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA**

La investigación a realizar justifica su importancia debido a que se aspira documentar y completar las investigaciones realizadas para la zona de Cusco en lo que refiere a la clasificación del eucalipto, pudiendo variar sus características de acuerdo al lugar de extracción, además se podrá contar con los parámetros de propiedades físico-mecánicas obtenidos en laboratorio tras una serie de ensayos y su clasificación en uno de los grupos estructurales (A, B, C) prescritos en la norma técnica peruana E.010.

### **1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 LIMITACIONES DE LUGAR**

Los resultados de los parámetros obtenidos serán válidos para la región del Cusco. Se considera solo al eucalipto de la provincia de Paruro, ya que es la zona de extracción de las muestras para esta investigación.

#### **1.3.2 LIMITACIONES DE MATERIALES**

El porcentaje de humedad será natural entre el 30%- 40% y seco entre 12%-16% de acuerdo a lo prescrito en la Norma Técnica Peruana E.010.

#### **1.3.3 LIMITACIONES DE ENSAYOS**

El estudio y los ensayos solo van dirigidos a las propiedades físico mecánicas de la madera.

No se efectuó la identificación de la especie en forma botánica ni de forma anatómica según lo prescrito en la norma técnica peruana E.010 en el artículo 6 exactamente en el ítem 6.2.2

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural



para clasificarlo según su uso estructural evaluado con la norma técnica peruana E.010.

#### **1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1**

Determinar las propiedades físicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural para su uso estructural bajo la norma técnica peruana E.010

- **OBJETIVO ESPECIFICO N°2**

Determinar las propiedades mecánicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural para su uso estructural bajo la norma técnica peruana E.010

- **OBJETIVO ESPECIFICO N°3**

Determinar la clasificación del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural en los grupos que propone la norma técnica peruana E.010

#### **1.5 HIPÓTESIS**

##### **1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL**

Las propiedades físico-mecánicas de la madera eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural la clasificaran como material estructural de acuerdo a la norma técnica peruana E.010

##### **1.5.2 SUB HIPÓTESIS**

- **HIPÓTESIS ESPECIFICA N°1**

Las propiedades físicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural clasificaran para su uso estructural.



- **HIPÓTESIS ESPECIFICA N°2**

Las propiedades mecánicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural clasificaran para su uso estructural.

- **HIPÓTESIS ESPECIFICA N°3**

El eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural están clasificados en el grupo A según la norma técnica peruana E.010.

## **1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Contenido de húmedo seco del eucalipto Globulus.
- Contenido de humedad natural del eucalipto Globulus.
- Propiedades Físicas del eucalipto Globulus.
- Propiedades Mecánicas del Eucalipto Globulus.

### **1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

- Uso estructural

### **1.6.3 INDICADORES INDEPENDIENTES**

- Cantidad de agua encontrada en la muestra (%)
- Densidad db (gr/cm<sup>3</sup>)
- Resistencia Flexión fm (kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistencia Tracción Paralela ft (kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistencia Compresión Paralela fc// (kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistencia Compresión Perpendicular fc (kg/cm<sup>2</sup>)
- Resistencia Corte Paralelo fv (kg/cm<sup>2</sup>)



#### 1.6.4 INDICADORES DEPENDIENTES

- El agrupamiento está basado en los valores de las resistencias físico-mecánicas: Densidad, Resistencia Flexión, Resistencia Tracción Paralela, Resistencia Compresión Paralela, Resistencia Compresión Perpendicular, Resistencia Corte Paralelo.



1.6.5 CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

TABLA 1 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	NIVEL	INDICADOR	UNIDADES	INSTRUMENTO METODOLÓGICO	INSTRUMENTO DE INGENIERÍA
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>						
USO ESTRUCTURAL	Normalización que permita la incorporación del Eucalipto Globulus al mercado de la madera aserrada para uso estructural	A B C	El agrupamiento está basado en los valores de			
			propiedades físicas: Densidad básica	g/cm <sup>3</sup>	fichas de recolección y tablas de resultados	Horno, balanza
			propiedades mecánicas: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo	kg/cm <sup>2</sup>	fichas de recolección y tablas de resultados	Máquina de compresión Equipo de Ensayo Univ. Materiales
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	Madera húmeda que no ha sufrido ningún tipo de secado, es aquella cuyo contenido de humedad es superior al higroscópico	30%-50%	Cantidad de agua encontrada en la muestra	%	fichas de recolección y tablas de resultados	Medidor de humedad electrónico
CONTENIDO DE HUMEDAD SECO	Se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza secada en cama expresado en porcentaje	12%-16%	Cantidad de agua encontrada en la muestra	%	fichas de recolección y tablas de resultados	Medidor de humedad electrónico

Fuente: Elaboración Propia





TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	NIVEL	INDICADOR	UNIDADES	INSTRUMENTO METODOLÓGICO	INSTRUMENTO DE INGENIERÍA
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>						
PROPIEDADES FÍSICAS	Factores inherentes a su organización física, sin producir ninguna modificación química en su estructura	Densidad	Densidad Básica	g/cm <sup>3</sup>	Fichas técnicas Hojas de recolección de datos	Horno, balanza
		Contenido de Humedad	Porcentaje de contenido de humedad	%	Fichas de recolección Tablas de resultados	Medidor de humedad electrónico
PROPIEDADES MECÁNICAS	Características inherentes, que permiten diferenciar un material de otro. Son diferentes en función de la dirección considerada. En general se suelen considerar la dirección de la fibra y la perpendicularidad	Flexión Estática	Resistencia a la flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	Fichas técnicas Hojas electrónicas	Equipo de Ensayo Univ. Materiales
		Compresión Paralela	Resistencia a la compresión paralela	Kg/cm <sup>2</sup>		Máquina de Compresión
		Compresión Perpendicular	Resistencia a la compresión perpendicular	Kg/cm <sup>2</sup>		Máquina de Compresión
		Cizallamiento Paralelo	Resistencia a alelo cizallamiento paralelo	Kg/cm <sup>2</sup>		Equipo de Ensayo Univ. Materiales
		Tracción Paralela	Resistencia a tracción paralela	Kg/cm <sup>2</sup>		Equipo de Ensayo Univ. Materiales

Fuente: Elaboración Propia



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ACTUAL

##### 2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

- Autores** : Rivera Inga Pepe, Castillo Uceda Manuel
- Institución** : Facultad de Ciencias Forestales Universidad Agraria La Molina
- Nivel** : Pre-grado
- Año** : 2009
- Título** : “Características Físico-Químicas de la madera de once especies forestales de la Amazonia Peruana”
- Resumen** : Las características físico-químicas de la madera y el carbón de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químico de la madera. Del carbón se determinó el rendimiento, contenido de humedad, densidad y análisis químico.
- Comentario** : Este trabajo de alcances sobre las características Físico-Químicas de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, que fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químicos de la madera.

##### 2.1.3 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

- Autor** : Díaz Méndez, Paola Patricia
- Institución** : Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Talca
- Nivel** : Pre-grado
- Año** : 2005
- Título** : “Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes”



**Resumen :** La presente investigación consiste en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera *Nothofagus glauca* (Hualo), las propiedades físicas que se analizaron fueron densidad, contenido de humedad, contracción radial y contracción tangencial y las propiedades mecánicas que se evaluaron fueron flexión, estática, compresión paralela y compresión perpendicular. Los ensayos se ejecutan según la norma Chilena, por lo que todas las probetas se acondicionan en la cama de clima hasta un contenido de humedad de 12%.

**Comentario :** Las propiedades físico-mecánicas del Hualo, lo clasifican como una madera semi-pesada, los ensayos físicos-mecánicos demostraron que el hualo es una especie apta para la construcción pesada, tales como, vigas, pilares, entre otros. Las propiedades mecánicas no presentan diferencias significativas entre clases de diámetros a cuanto a tensión unitaria, módulo de elasticidad y módulo de roturo.

## **2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES**

### **2.2.2 GENERALIDADES DE LA MADERA**

#### **2.2.2.1 CONCEPTOS GENERALES DE LA MADERA**

La madera se define como la sustancia vegetal más o menos dura, compacta y fibrosa que se extrae del tronco, ramas y raíces de las plantas leñosas. Es una agrupación de células de formas muy variadas de diferentes tamaños y características. Por lo tanto la madera no es un material homogéneo, o sea, no tiene una estructura uniforme y debe cumplir en el árbol o vegetal vivo tres funciones: la conducción de la savia, o sea agua y sustancias disueltas, la transformación y almacenamiento de sustancias de reserva y el sostenimiento o resistencia mecánica del vegetal.

Según (Wavedeck, 2008) la madera es un tejido vegetal, cuyo nombre técnico es xilema, formado por una masa fibrosa compuesta de pequeñas células alargadas de forma tubular, paralelas al tronco del árbol y de milésimas de



centímetros por sección que se extienden unos pocos milímetros a lo largo de su eje. Los árboles al crecer absorben del aire dióxido de carbono, y del suelo agua y minerales que se convierten, por el proceso de fotosíntesis, en carbohidratos, componentes básicos para la producción de células de madera.

#### **2.2.2.2 LA ANATOMÍA DE LA MADERA**

Según (Mangium, 1994) menciona que la anatomía de la madera comprende el estudio de características generales y estructuras macro y microscópicas. Se divide en dos partes: anatomía sistemática, la cual permite establecer una clave de identificación, de acuerdo a sus propiedades anatómicas; y la anatomía aplicada, que estudia la influencia anatómica en las propiedades tecnológicas de la madera.

De acuerdo a (Perez., 1986). Indica que la anatomía de la madera permite recabar información fundamental sobre la estructura de maderas de una localidad o región determinada mediante la elaboración de claves, descripciones o su incorporación a un banco de datos.

Zobel y Van Buijtenen, citados por (Perez., 1986), señalan que la estructura de la madera es el resultado de la influencia de factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales). La naturaleza e intensidad de la influencia de estos factores sobre los elementos anatómicos pueden diferir según la especie o el género. Agregan Pérez y De la Paz, citados por Silva (2005), que existen variaciones por interacción entre el carácter genético y medio ambiente, los cuales repercuten en las características anatómicas.

Costa, citado por (Voigt, 2006) menciona que factores como la sequía, inundación, altitud, latitud, formación de suelo, estadios sucesionales de vegetación y la contaminación pueden alterar significativamente la estructura anatómica del xilema.

Según indica (Perez., 1986), la anatomía de la madera es importante en la identificación ordinaria de maderas por los siguientes aspectos:

- De interés para el comerciante de maderas, ya que mediante los servicios del anatomista de madera (si éste dispone de una buena xiloteca), se



puede obtener la identidad botánica de la madera. Maderas pertenecientes a especies, géneros, y aun familias diferentes pueden ser confundidas a simple vista.

- De utilidad en el control de explotación, importación y exportación de maderas. Con cierta frecuencia, principalmente en el mercado internacional, se habla de fraudes por envíos de madera involuntaria o deliberadamente confundidas. También pueden ocurrir que durante el transporte de maderas comerciales se extravíen las señales de identificación.
- Para recabar información fundamental sobre la estructura de las maderas de una localidad o región determinada, mediante la elaboración de claves, descripciones o su incorporación a un banco de datos.

(Espinoza, 2001) Mencionan que mediante el conocimiento de la estructura anatómica de la madera se pueden hacer inferencias sobre las propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización de la madera. Resaltan que la densidad tiene una relación directa con el espesor de fibras y que es la característica anatómica de mayor influencia en las propiedades de resistencia mecánica de la madera. Otras características que afectan la densidad y resistencia mecánica de forma inversa son el diámetro de poros y frecuencia, altura y anchura de radios y parénquima.

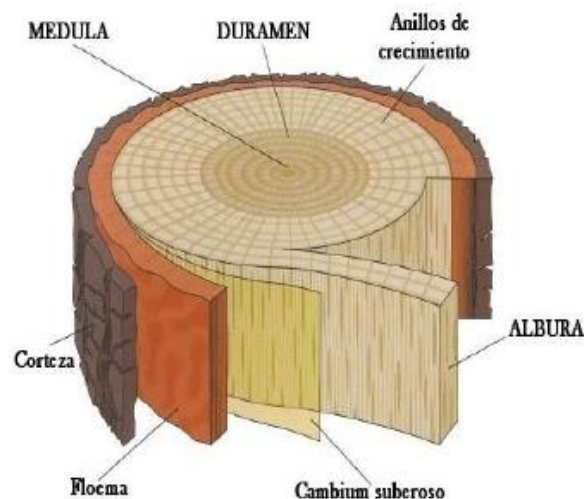
Pérez (1986) resalta que la anatomía de maderas puede ser útil en actividades e indagaciones dendrocronológicas, pues los anillos de crecimiento tienen características que los convierten en una valiosa y excepcional fuente de información paleoclimática; tales como:

- El ancho de los anillos de crecimiento es fácilmente medible por una secuencia continua de años, y estas medidas pueden ser calibradas con datos del clima.
- Los anillos de crecimiento pueden ser fechados para los años específicos en los cuales ellos fueron formados, de manera que la información climática es precisamente ubicada en el tiempo.

### 2.2.2.3 PARTES DE LA MADERA

- La corteza: Es la capa más externa del árbol y está formada por las células muertas del árbol. Esta capa es la protección contra los agentes atmosféricos.
- El cambium: Es la capa que sigue a la corteza y se divide en dos capas denominadas: La capa interior o capa de xilema que forma la albura explicada en el siguiente punto y una capa exterior o capa de floema que se coloca formando la corteza.
- La albura: Es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los vasos de la savia que se parecerían a nuestro sistema sanguíneo. Los vasos transportan la savia que es una sustancia azucarada que la hace vulnerable a los ataques de los insectos. Es una capa más blanca por que por ahí viaja más savia que por el resto de la madera.
- El duramen: Es la madera dura y consistente, propiamente dicha, está formada por unas células que no funcionan y se encuentra en el centro del árbol. Las diferencias con la albura son que es más oscura y no circula la savia, de ahí sale lo del color más oscuro.

FIGURA 1 PARTES DE LA MADERA



Fuente: ((La madera), <http://www.cepazahar.org/>, 2013)

La edad del árbol se verifica si contamos los anillos que existen al hacerle un corte transversal al tronco y este nos dirá los años que tiene, esos anillos se forman por el crecimiento de una nueva capa de xilema.

La madera dura tiene los anillos más cercanos en comparación de la madera blanda.

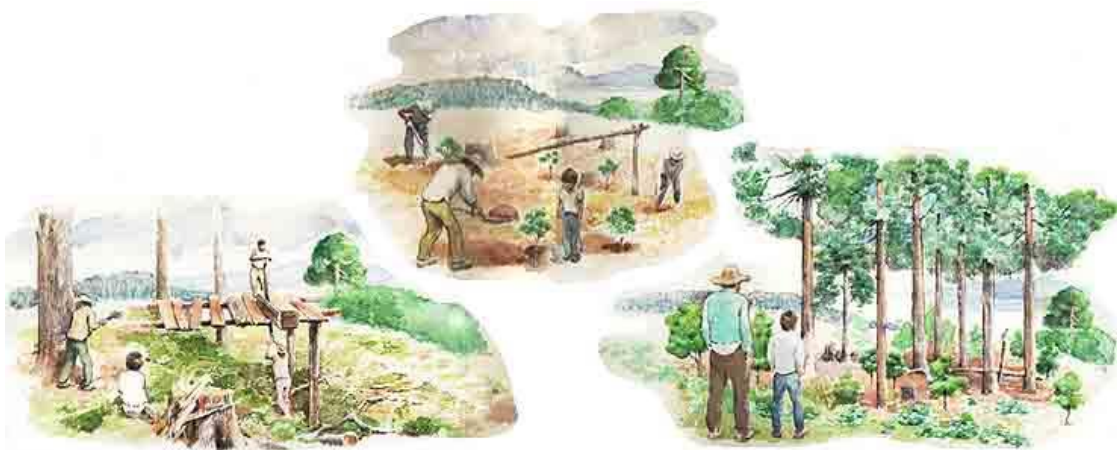
Algunos periodos climáticos, si están muy junto indican un periodo de sequía y en la cual el xilema no ha podido crecer demasiado y si por lo contrario ha llovido bien los anillos estarán más separados. (Perez., 1986).

#### **2.2.2.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA**

##### **2.2.2.4.1 APEO CORTE Y TALA**

En este proceso intervienen los leñadores o la cuadrilla de operarios que suben al monte y con hachas o ahora motosierras eléctricas o de gasolina cortan el árbol y le quitan las ramas, raíces y empiezan a quitarle la corteza para que empiece a secarse.

**FIGURA 2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA**



Fuente: ((La madera), <http://www.cepazahar.org/>, 2013)

#### **2.2.2.4.2 SECADO**

El secado de la madera es un proceso que se justifica para toda pieza que tenga uso definitivo en el interior de la vivienda (queda incorporada a la vida útil de ésta), sea con fines estructurales o de terminación (Fritz, 2004).

La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

Mejora sus propiedades mecánicas: la madera seca es más resistente que la madera verde.

- Mejora su estabilidad dimensional.
- Aumenta la resistencia al ataque de agentes destructores (hongos).
- Aumenta la retención de clavos y tornillos.
- Disminuye considerablemente su peso propio, abarata el transporte y facilita la manipulación de herramientas.
- Mejora la resistencia de adhesivos, pinturas y barnices.
- Mejora su ductilidad, facilidad para cortar y pulir.
- Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.
- Aumenta la resistencia de las uniones de maderas encoladas.

##### **2.2.2.4.2.1 SECADO AL AIRE**

Se efectúa simplemente encastillando la madera bajo cubiertas protectoras contra el sol directo, permitiendo la circulación de aire en forma expedita y, según las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, el secado de la madera. Tiene la desventaja de ser un proceso lento y poco efectivo (Fritz, 2004).

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire son:

- Disponer de una cancha o patio que permita exponer la madera al aire, y que el encastillado sea efectuado de modo que el aire circule envolviendo cada una de las piezas de madera.
- El mejor sistema de encastillamiento para un secado rápido con el mínimo de agrietamiento y torceduras, es el apilado plano.



**FIGURA 3 SECADO DE MADERA AL AIRE**

Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### **2.2.2.4.2.2 SECADO CONVENCIONAL EN HORNO**

Consiste en secar la madera en cámaras especiales (hornos), en los cuales se manejan variables de presión, humedad y temperatura (100 a 103 °C). Este proceso tiene la ventaja de ser rápido, además de establecer el grado de humedad deseado.

Tiene la desventaja de ser un proceso que puede provocar fisuras, grietas, arqueaduras y torceduras en la madera, dependiendo del procedimiento y la especie.

##### **2.2.2.4.2.2.1 DEFECTOS POR SECADO**

Los defectos por secado se producen cuando se realiza un proceso que genera tensiones internas a nivel de estructura de la madera, siendo los más frecuentes:

- Arqueaduras
- Acanaladura
- Encorvadura
- Torcedura
- Colapso



### 2.2.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA

La composición química de la madera es del 50% de carbono, 6% de hidrógeno, 42 % de oxígeno, 1 % de nitrógeno y 1 % de cenizas.

El 50 % de la madera está formada por celulosa, el 30 % por lignina, más rica en carbono y de carácter aromático, y el resto por la hemicelulosas, materias tánicas, colorantes, resinas y albúminas.

### 2.2.2.6 RECURSO FORESTAL

Según OSINFOR-Perú (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre), los bosques son el recurso natural renovable más importante del Perú tanto por su extensión como por su importancia económica. Con una superficie boscosa de cerca de 73 millones de ha (57% del territorio nacional) el país ocupa el 2° lugar en América del Sur.

Los bosques existentes en el país se pueden clasificar de varias maneras:

- Por su origen:
  - Bosques naturales: de origen natural. Cubren 72,8 millones de ha.
  - Bosques cultivados: sembrados o reforestados. Cubren unas 300 000 ha.
- Por regiones naturales:
  - Costa: bosques naturales (1,87 millones de ha); bosques cultivados (12 mil ha).
  - Sierra: bosques naturales (0,7 millones de ha); bosques cultivados (270 mil ha).
  - Selva: bosques naturales (70,2 millones de ha); bosques cultivados (18 mil ha).
- Por la composición de especies:
  - Heterogéneos: con una alta diversidad de especies por hectárea. Cubren 65,5 millones de ha. Son los bosques amazónicos en su mayor parte.
  - Homogéneos: con una composición bastante uniforme de pocas especies. Cubren un total de 7,3 millones de ha. Pertenecen a este grupo los manglares (5 000 ha), los bosques secos (1, 1 millones de ha), los



quinuales y quishuares (30 000 ha), los bosques de romerillo (700 000 ha), y los aguajales (5,5 millones de ha).

- Por su aptitud:

Aptos para la extracción de madera, o sea, cuyas condiciones posibilitan las actividades forestales maderables. Cubren 39,3 millones de ha. No operables, o sea, donde las condiciones de pendiente y otras no favorecen las actividades forestales maderables. Cubren 26,2 millones de hectáreas. Estos bosques se ubican en tierras de protección donde las actividades humanas (agricultura, ganadería, forestales) deben ser evitadas para no destruir otros recursos (cuencas, aguas, suelos, diversidad biológica, etc.).

La importancia de los bosques es económica, social y ambiental o ecológica.

- La importancia económica está dada por los numerosos productos que se obtienen de ellos tanto maderables (unos 8 millones de M3 de madera/año) y no maderables (leña, plantas medicinales, alimentos vegetales, carne de monte, fibras, tintes, etc.). En el Perú se usan unas 4400 especies de plantas para 48 fines distintos y que representan un valor de US\$ 4 000 millones al año. El potencial maderero total del país se calcula en 5 600 millones de m3 de los cuales se aprovechan 8 millones al año.
- La importancia social está en la alta dependencia de grupos humanos de los recursos forestales tanto para la obtención de diversos productos (leña, alimentos, medicinas, fibras, etc.) como para su subsistencia cultural, como las comunidades indígenas amazónicas, que viven en y del bosque.
- La importancia ambiental o ecológica consiste en los servicios ambientales que prestan los bosques como la conservación del agua y de las cuencas de los ríos, la conservación de los suelos, la conservación de la diversidad biológica (especies de flora, fauna, microorganismos y recursos genéticos). La conservación de los bosques es de alta prioridad.

Los efectos ambientales y sociales, como son la deforestación y la degradación de los recursos forestales producen una constante pérdida de biodiversidad y de



fertilidad de los suelos; una drástica disminución de la capacidad de las montañas y bosques como fuente de generación y mecanismo de regulación y la desertificación de extensas áreas.

La producción está conformada en su mayoría por las siguientes especies forestales según el departamento:

**TABLA 2 PRODUCCIÓN SEGÚN DEPARTAMENTO**

<b>Departamento</b>	<b>Tipo de Madera</b>
UCAYALI	Tornillo, Lupuma, Catahua, Cumala, Cedro y Caoba
SAN MARTIN	Tornillo, Higuera, Caoba y Sphingo
CUSCO	Tornillo, Cedro, Eucalipto, Yatapalo y Lupuma
AMAZONAS	Cedro y Tornillo
ANCHAS	Eucalipto, Tornillo y Pino
APURIMAC	Eucalipto y Pino
AYACUCHO	Tornillo, Diablo fuerte y Roble
CAJAMARCA	Eucalipto y Pino
JUNIN	Tornillo, Roble corriente, Eucalipto y Cedro

Fuente: Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre

Todas estas especies son utilizadas para los diferentes elementos de la construcción, ya sean estructuras, pisos, puerta, ventanas, encofrado y en si todo tipo de acabado, dependiendo del costo de las maderas. El eucalipto y el pino son las especies que tiene mayor demanda para la construcción debido a sus propiedades y sobre todo a su precio.

#### **2.2.2.7 AGRUPACIÓN DE MADERAS EN GRUPOS ESTRUCTURALES**

Según la Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, el número de especies de madera de la Subregión Andina que pueden ser adecuadas para la construcción es muy grande, mucho mayor que el número de especies que actualmente se conocen y destinan a esta aplicación. Para evitar la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas cuando existen otras de características similares, se ha considerado apropiado agrupar a las especies en tres grupos estructurales. Esto debe permitir mayor flexibilidad en el uso de las maderas tropicales, evitando preferencias injustificadas que incrementan los precios del material.

Las propiedades mecánicas, especialmente el esfuerzo de rotura en flexión (módulo de rotura MOR), están correlacionados con la densidad básica. Por lo tanto, el agrupamiento de las especies en tres grupos está basado generalmente en las densidades. Los límites entre grupos han sido establecidos considerando tanto las características de resistencia como de rigidez. Las maderas estudiadas en el grupo andino han sido agrupadas en tres grupos estructurales, en función de su resistencia y densidad básica.

Según la Norma Técnica Peruana E.010, se denomina A al grupo de maderas de mayor resistencia, las densidades básicas de este grupo están por lo general en el rango de 0.71 a 0.90; B al grupo intermedio con una densidad entre 0.56 y 0.70 y las del grupo C de menor resistencia con una densidad básica entre 0.40 y 0.55. Cualquier especie de las ubicadas en un grupo estructural determinado se considera que reúne por igual las características de resistencia y rigidez asignadas al grupo. Desde el punto de vista de comportamiento estructural es indiferente usar cualquiera de ellas una vez seleccionado el grupo. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que las maderas del mismo grupo estructural no siempre tienen características similares de trabajabilidad y durabilidad natural.

Tabla 3 ESFUERZOS ADMISIBLES

GRUPO	ESFUERZOS ADMISIBLES MPa (KG/CM <sup>2</sup> )				
	FLEXIÓN (fm)	TRACCIÓN (ft)	COMPRESIÓN PARALELA (fc//)	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (fc <sup>⊥</sup> )	CORTE PARALELO (fv)
A	20.6(210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.8 (80)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010



### **2.2.3 PROPIEDADES DE LA MADERA**

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

#### **2.2.3.1 PROPIEDADES BÁSICAS**

Según (Pérez Galaz, 2005), independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

##### **2.2.3.1.1 MATERIAL BIOLÓGICO**

Porque está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina, por ello puede ser un material biodegradado por el ataque de hongos e insectos xilófagos, como la polilla. Debido a esto la madera debe tener un especial tratamiento de protección que garanticen su durabilidad en el tiempo en relación con los otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero, hormigón entre otros)

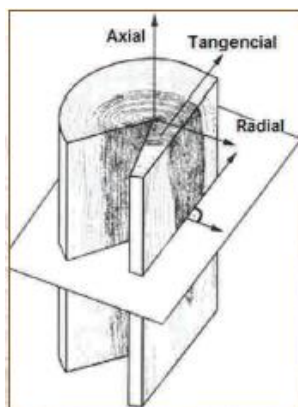
##### **2.2.3.1.2 MATERIAL ANISOTRÓPICO**

Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal.

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer:

- Eje tangencial
- Eje radial y
- Eje axial o longitudinal

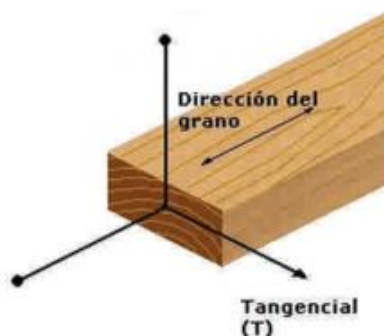
FIGURA 4 SENTIDOS DEL EJE DEL ÁRBOL



Fuente: Wagner, J; "House Framing", Creative Homeowner, Nueva Jersey, EE.UU., 1998.

El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.

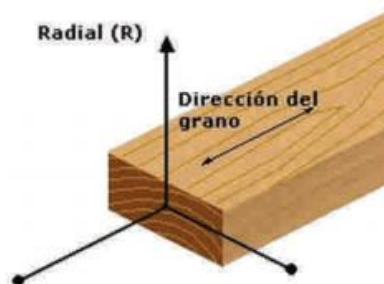
FIGURA 5 EJE TANGENCIAL DE UNA PIEZA DE MADERA



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

El eje radial es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.

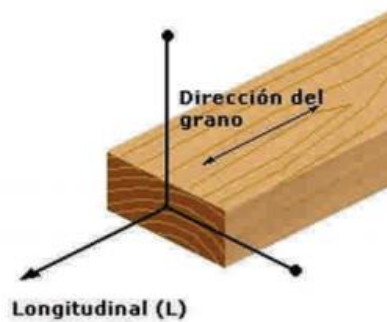
FIGURA 6 EJE RADIAL DE UNA PIEZA DE MADERA



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

El eje longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

FIGURA 7 EJE LONGITUDINAL EN UNA PIEZA DE MADERA



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

### 2.2.3.1.3 MATERIAL HIGROSCÓPICO

Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

### 2.2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

#### 2.2.3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad (Ananias, 1993).



Tabla 4 CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

$\% \text{ Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua} \times 100}{\text{Peso de madera seca en cámara}}$
$\text{Donde: } \text{Peso del agua} = \text{Peso madera húmeda} - \text{Peso madera seca en cámara}$

Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de agua que contiene la madera ya sea en forma natural o por exposición a condiciones del medio ambiente, puede variar principalmente debido a la humedad y temperatura que predomine en el lugar donde se la utiliza. Al cortar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, humedad que oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra, la madera secada al aire contiene del 10 al 15% de su peso de agua.

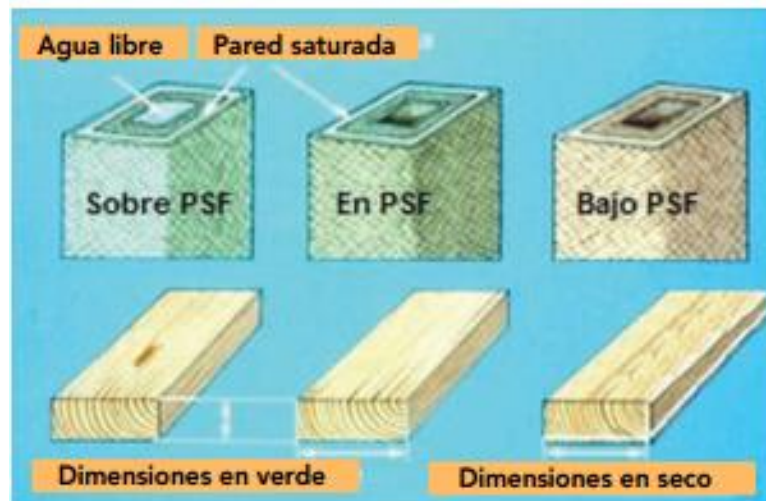
Dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades la cual desaparece totalmente, quedando además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmosfera que rodea a la madera . La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada fluctúa entre 50 y 60% y por absorción puede llegar hasta el 250 y 300% (Ananias, 1993).

Se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio, cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, diciéndose que la madera esta secada al aire. Se denomina, entonces, humedad de equilibrio al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente. Los cambios climáticos del aire que se suceden continuamente, día y noche según las estaciones, hacen que la humedad de la madera también cambie, aunque en valores pequeños (Ananias, 1993).

Dicha condición se produce en casi todas las especies cuando el agua libre ha sido entregada al ambiente, permaneciendo con agua sólo las paredes celulares. A este punto de humedad se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF).

Desde este punto porcentual y sobre él, la madera tiene las dimensiones de la madera verde.

FIGURA 8 MADERA SOBRE EL PSF. PRESENCIA DE AGUA LIBRE Y AGUA LIGADA



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

Cuando la madera tiene un contenido de humedad bajo (el punto de saturación de las fibras es menor al 30%), se habla de madera seca. Sin embargo, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior al 15% (Kollmann 1959).

#### 2.2.3.2.2 DENSIDAD DE LA MADERA

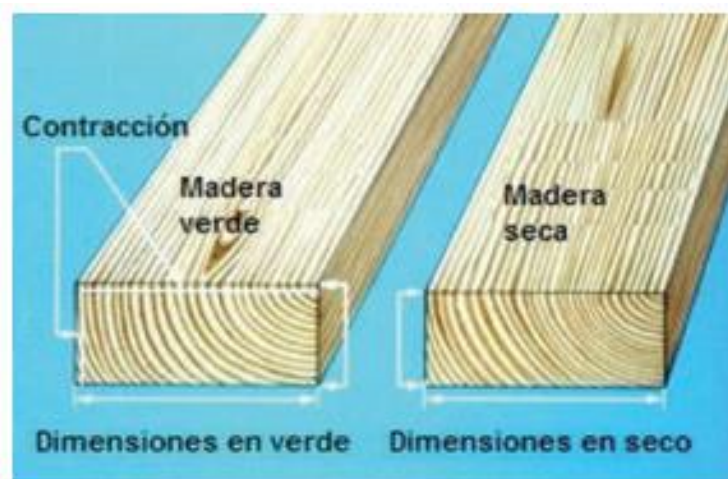
La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad (Ananias, 1993). Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera. Se puede determinar la densidad, estableciendo las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza (Fritz, 2004):

- Densidad Anhidra donde se relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).
- Densidad Normal es aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.
- Densidad Básica que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.
- Densidad Nominal es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.
- Densidad de Referencia: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad. Las maderas se clasifican por su densidad aparente en pesadas si el valor es mayor de 0,8; ligeras, si está comprendida entre 0,5 y 0,7 y muy ligeras las menores de 0,5.

### 2.2.3.2.3 CONTRACCIÓN DE LA MADERA

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera. Cuando esto ocurre se dice que la madera “trabaja” (Ananias, 1993).

FIGURA 9 MADERA VERDE Y MADERA SECA



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

Las dimensiones de la madera comienzan a disminuir en los tres ejes tangencial, radial y longitudinal. Sin embargo, en este proceso la contracción tangencial es mayor a la que se produce en un árbol y varía entre el 5 y 11,5%, luego le sigue la radial de 1 al 7,8% que es menor pero significativa sobretodo en la deformación de la pieza, finalmente la contracción longitudinal es prácticamente despreciable sobretodo en madera estructural, esta no pasa del 0,8%.

El punto de saturación de la fibra es una variable muy importante dentro del comportamiento de la madera, cuando se encuentra sobre él, la madera no varía sus características, ni su comportamiento físico o mecánico, pero cuando la madera se encuentra bajo este punto, sufre cambios en su dimensión y volumen que podría variar de leves a drásticos.

Las consecuencias de dicho proceso en beneficio de las propiedades resistentes de la madera, dependerán de las condiciones y método de secado aplicado (al aire o en cámara).

La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originándose tensiones por desecamiento que agrietan y alabea la madera, estando la convexidad en el duramen y si una pieza de madera contiene corazón, duramen y albura esta se contrae más por los extremos. Sin embargo con un adecuado método, los efectos son beneficiosos sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Ananias, 1993).

**TABLA 5 CONTRACCIÓN DE LA MADERA SECADA AL AIRE Y EN CÁMARA**

<b>HUMEDAD</b>	<b>DIMENSION</b>	<b>CONTRACCION</b> %
Verde -12%	Tangencial	4,0
	Radial	2,0
	Longitudinal	0,1
	Volumétrica	6,0
Verde-Seco en cámara	Tangencial	7,0
	Radial	3,4
	Longitudinal	0,2
	Volumétrica	10,5

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 10 EFECTOS DE LA CONTRACCIÓN EN LA MADERA.



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera.

#### 2.2.3.2.4 HINCHAMIENTO DE LA MADERA

El hinchamiento se produce cuando la pieza de madera absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido longitudinal o de las fibras y más en el perpendicular o radial con más o menos 2,5 y 6%; pero el peso de una madera sumergida si puede variar entre un 50 y 150%. La madera aumenta de peso hasta llegar a un punto llamado punto de saturación a partir del cual el volumen se estabiliza en un 20 y 25 % de agua, aunque siga absorbiéndola.

Debido a estos cambios de volumen en las piezas que están sometidas a cambios de sequedad y humedad, es preciso dejar las holguras necesarias para no afectar la estabilidad de la estructura (Ananias, 1993).

#### 2.2.3.2.5 HENDIBILIDAD

Es la propiedad que tiene la madera de resistir a la rajadura o corte en sentido de sus fibras, paralelos al eje del tronco, El rajado es más fácil en sentido de los radios, por ello mientras más dura, densa, carezca de nudos, tenga fibras rectas, la madera es más hendible

#### **2.2.3.2.6 DUREZA**

La resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc., varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de la albura. La madera seca es más dura que la verde.

Según su dureza, la madera se clasifica en:

- Maderas duras: son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas.
- Maderas blandas: las maderas de coníferas son más livianas y menos densas que las duras.
- Maderas semiduras: Muchas maderas no se las puede clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas.

Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia y características que las hacen más fácil o difícil de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas

#### **2.2.3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS**

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria. Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente.

Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta (Figura 11), hasta el punto donde

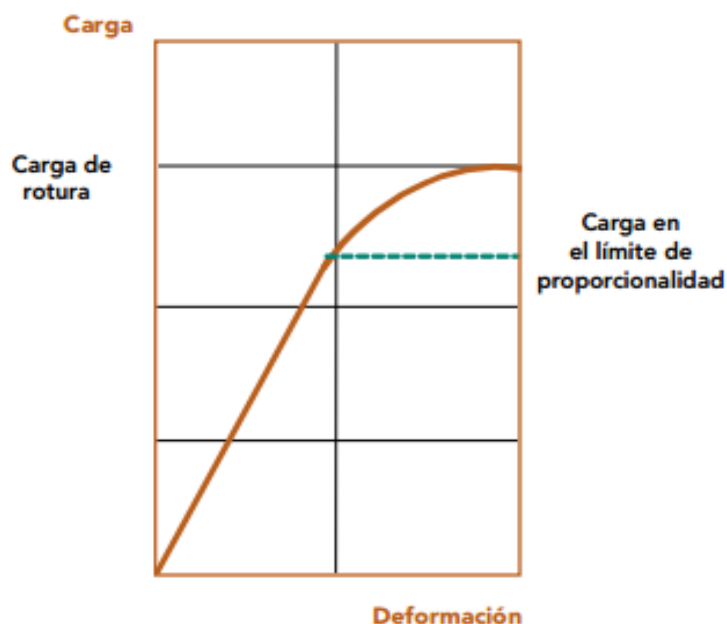
se inicia el límite elástico del material ensayado. Si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material.

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica. El esfuerzo necesario para solicitar un material hasta el límite elástico, determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a que se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes.

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud.

Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera (Fritz, 2004).

FIGURA 11 CARGA-DEFORMACIÓN



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera.

### 2.2.3.3.1 ENSAYOS

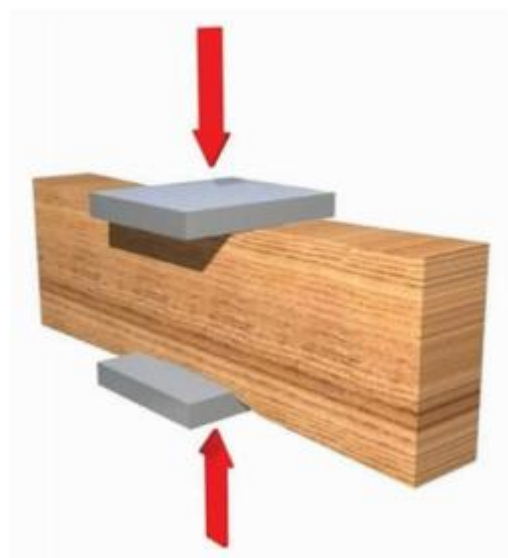
Los ensayos se realizan en dos estados de contenido de humedad, uno con probetas de humedad 12% (estado húmedo), y el segundo con probetas de humedad 0% (estado seco) (Fritz, 2004).

#### 2.2.3.3.1.1 COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO ( $f_{c\perp}$ )

Las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela. Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento (Cartagena., 1984).

FIGURA 12 ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera



### 2.2.3.3.1.2 COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO ( $f_c//$ )

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esto proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras. Los esfuerzos de trabajo que se dan para la compresión paralela al hilo se aplican a postes, columnas y puntales. La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción.

Para comprender el comportamiento mecánico de la madera es preciso tener presente la constitución anatómica de la misma. El ensayo principal en la madera es el de compresión, del cual se pueden deducir las demás características mecánicas en forma simplificada (Cartagena., 1984).

FIGURA 13 ESQUEMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

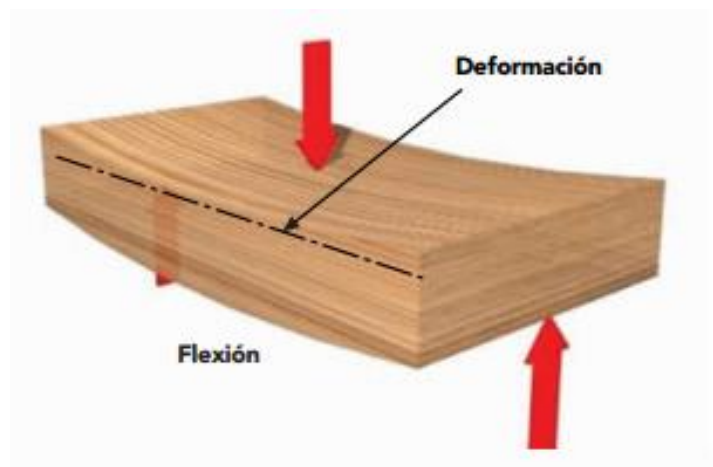
### 2.2.3.3.1.3 FLEXIÓN ESTÁTICA (fm)

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.

Los esfuerzos en flexión se producen en cuerpos de gran longitud respecto a las dimensiones de su sección transversal, cuando estos son sometidos a la acción de cargas transversales o normales de su eje longitudinal, de tal manera que tiendan a producir una arqueadura del elemento. Un caso típico es el de la viga.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta (Cartagena., 1984).

FIGURA 14 ESQUEMA DE ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

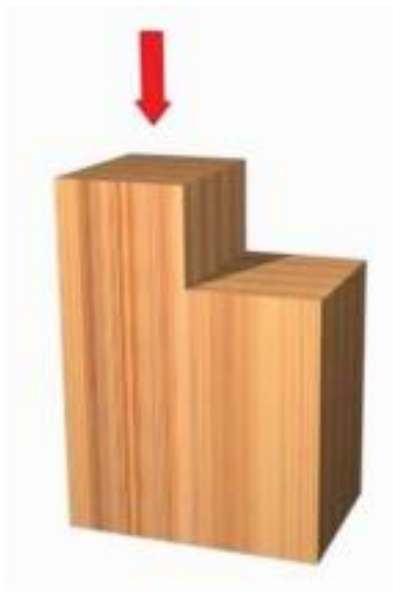
La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizalle) (Karsulovic, 1982; Campos, et al, 1990; Cuevas, 2003)

#### 2.2.3.3.1.4 CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (fv)

En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos direcciones. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela.

En elementos a escala natural hay una disminución por la presencia de defectos como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros lo que puede resultar en menores valores (Cartagena., 1984).

FIGURA 15 ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### 2.2.3.3.1.5 TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS (ft)

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de fallas es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela, se puede

observar el comportamiento lineal y elástico de la curva de esfuerzo – deformación, se observa también la naturaleza explosiva y violenta con la que se produce la falla. La resistencia a tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano.

Para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendicular es nula. La influencia de otros defectos característicos de la madera hace que la resistencia de elementos a escala real puede ser tan baja como un 15% del esfuerzo de rotura en tracción en probetas (Cartagena., 1984).

**FIGURA 16 ESQUEMA DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS**



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### **2.2.3.3.1.6 MODULO DE ELASTICIDAD (MOE)**

El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo deformación obtenida en un ensayo de compresión paralela. Puede ser hallado también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales, el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento.

Los módulos de elasticidad representan el grado de rigidez de un material y es el resultado de dividir su esfuerzo unitario entre su deformación unitaria correspondiente (Cartagena., 1984).

TABLA 6 MÓDULOS DE ELASTICIDAD

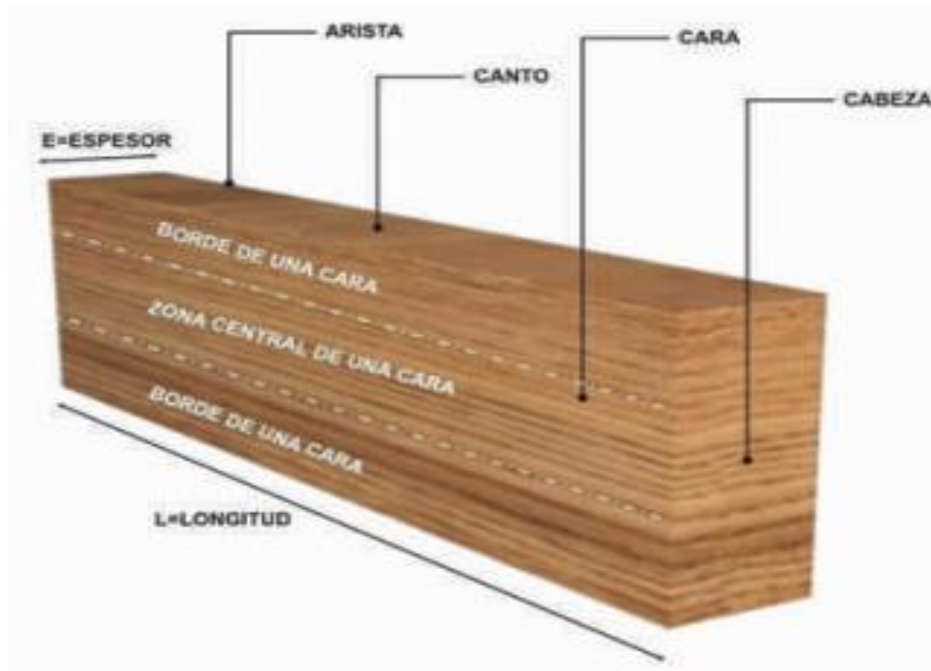
GRUPO	E MÍNIMO(kg/cm <sup>2</sup> )	E PROMEDIO(kg/cm <sup>2</sup> )
A	6316(95000)	12748(130000)
B	97365(75000)	9806(100000)
C	5394(55000)	8826(90000)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

#### 2.2.3.4 GEOMETRÍA DE UNA PIEZA DE MADERA

- Arista: Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes.
- Cabeza: Sección transversal de cada extremo de una pieza.
- Cantos: Superficies planas, menores y normales a las caras paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.
- Caras: Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.
- Borde de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza y que queda limitada en el ancho, por una arista y por una línea imaginaria paralela a la arista y a una distancia de ésta igual a la cuarta parte del ancho de la pieza.
- Zona central de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza que queda comprendida entre los bordes de la cara. El ancho de esta zona es igual a la mitad del ancho de la pieza.

FIGURA 17 TÉRMINOS RELATIVOS A LA GEOMETRÍA DE UNA PIEZA



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

### 2.2.3.5 FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

La estructura natural de la madera puede verse afectada en sus propiedades mecánicas debido a una serie de factores:

#### 2.2.3.5.1 DEFECTOS DE LA MADERA

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físicoquímica de la madera, que afecte los aspectos de resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitante en su uso o aplicación.

El identificar los defectos de la madera permite clasificarla por aspecto o resistencia. Se distinguen, además, defectos por manipulación de la madera (secado y elaboración) y los inherentes a ella, los cuales influyen al momento de clasificarla por aspecto y por resistencia (Fritz, 2004).

### 2.2.3.5.1.1 DEFECTOS PROPIOS DE LA MADERA

Los defectos que más perjudican a la durabilidad y resistencia son:

#### 2.2.3.5.1.1.1 NUDOS SUELTOS

Los nudos son los tejidos que forman las ramas las cuales sufren desviaciones, provocando diferente textura y heterogeneidad en la resistencia, los cuales al desecarse se desprenden dejando huecos en la madera de sección relativamente circularlos nudos se denominan vivos o muertos, según que las ramas que los han formado así lo estén cuando se tala el árbol. Los primeros son de color claro y están adherentes, y los segundos y generalmente pueden estar podridos. Los agujeros y/o nudos sueltos se pueden ubicar en la arista, en el borde de la cara, en el canto o en la zona central de la cara.

La posición de este defecto es determinante en la magnitud de la alteración que causará en las propiedades resistentes. Así, un agujero en el canto afecta la resistencia de tracción y compresión de una pieza por esfuerzo de flexión. En cambio, un agujero en el centro de la cara alterará más su resistencia de cizalle, cuando se aplica a ella el mismo esfuerzo de flexión.

FIGURA 18 MEDICIÓN DE AGUJERO Y/O NUDO SUELTO EN EL BORDE

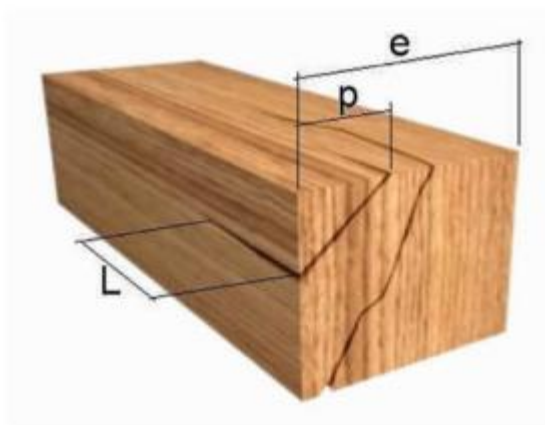


Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

### 2.2.3.5.1.1.2 RAJADURAS

Separación de fibras en la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

FIGURA 19 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA ZONA AFECTADA POR LA RAJADURA

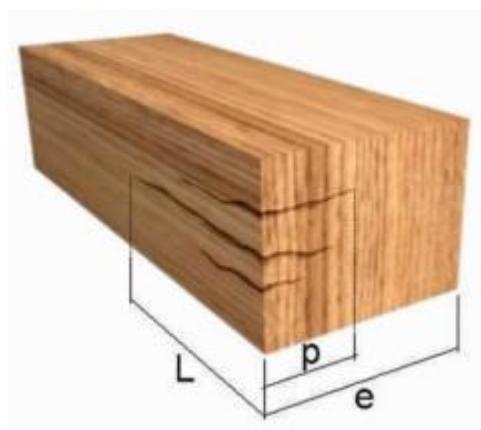


Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

### 2.2.3.5.1.1.3 GRIETAS

Separación de elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

FIGURA 20 MEDICIÓN DE GRIETAS



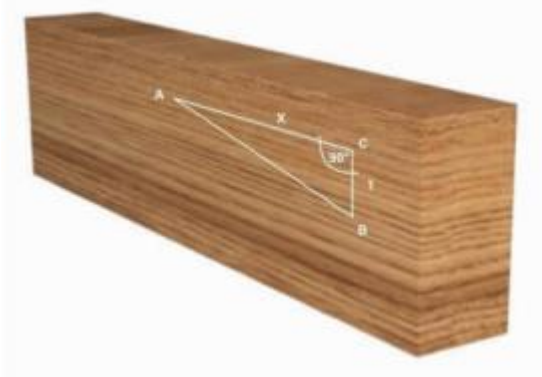
Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera



#### 2.2.3.5.1.1.4 FIBRA INCLINADA

Desviación angular que presentan los elementos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal de la pieza.

FIGURA 21 MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### 2.2.3.5.1.1.5 PERFORACIÓN

Galería u otro tipo de orificio producido por la presencia de insectos taladradores. En cualquier caso, la madera con este defecto debe ser desechada.

#### 2.2.3.5.1.1.6 ALABEOS

Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes, longitudinal y transversal o ambos a la vez, pudiendo tener diferentes formas: acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura. Estos son defectos típicos por secado inadecuado, tema que se trata más adelante.

FIGURA 22 Acanaladura, alabeo de las caras en la dirección



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### 2.2.3.5.1.1.7 COLAPSO

Reducción de las dimensiones de la madera durante el proceso de secado, sobre el punto de saturación de las fibras, y se debe al aplastamiento de sus cavidades celulares.

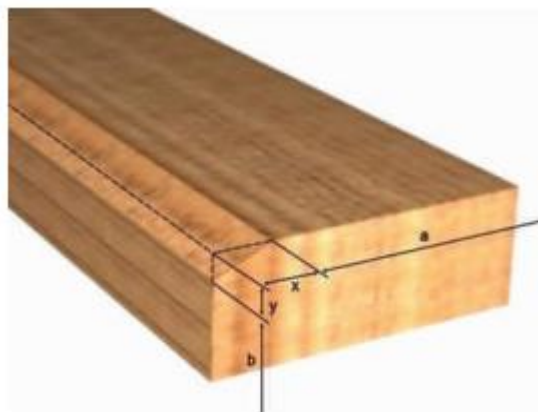
Este defecto no es admisible en la madera, puede afectar la resistencia y además su presencia.

#### 2.2.3.5.1.1.8 CANTO MUERTO

Se conoce por canto muerto o arista faltante a la falta de madera en una o más aristas de una pieza.

Se mide en la arista, su largo o suma de largos en mm, mayor dimensión en el canto (x) y mayor dimensión en la cara (y).

FIGURA 23 MEDICIÓN DE LA ARISTA FALTANTE O CANTO MUERTO



Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

#### 2.2.4 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Según el Manual de Maderas para el Grupo Andino (1987), dice que la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, a mayor contenido de humedad mucha menor resistencia. El valor de contenido de humedad óptimo es el 12% el cual se considera como el valor que define la madera seca al aire y el punto de saturación de las fibras se puede considerar igual al 30%.



## 2.2.5 PATOLOGÍA DE LA MADERA

### 2.2.5.1 GENERALIDADES

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la madera para construir sus casa y elaborar utensilios que pudieran hacer su vida más llevadera, los tipos de construcciones variaban de acuerdo localización geográfica, al clima a la disponibilidad de vegetación; pero el criterio básico era único: utilizar un material fácil de encontrar, transportable y cómodo de trabajar.

Con el paso de los años el primitivo interés de la madera no desapareció, más bien se incrementó ya que la madera presentaba a más de las características mencionadas una gran resistencia mecánica, presentaba condiciones acústicas y térmicas buenas y además presentaba una gran resistencia a la degradación debido al paso del tiempo, es decir el tiempo por sí solo no juega un papel importante en las modificaciones de las características materiales de la madera (Fritz, 2004).

Más bien la degradación de la madera se debe a condiciones no inherentes a su estructura y composición, sino más bien a la acción de agentes exteriores tanto de naturaleza abiótica pero principalmente biótica. Las causas de las patologías pueden ser directas o indirectas: Las causas directas pueden ser también físicas, mecánicas y químicas. Físicas producidas por agentes atmosféricos o contaminación atmosférica; las mecánicas se producen por esfuerzos mecánicos imprevistos en los elementos y las causas químicas cuando existen interacciones con otros materiales o por la contaminación. Las causas indirectas se dan por diseño constructivo, ejecución, material en el proyecto; las cuales se producen por errores en la selección o calidad del material, por falta de especificaciones adecuadas del mismo, error en la disposición o armado de los elementos constructivos o contrario a las especificadas en el proyecto (Fritz, 2004).

## **2.2.5.2 AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA**

La madera por ser un elemento natural es un material biodegradable y aún más por la acción de agentes bióticos o abióticos, efectos en el diseño y/o ejecución o alteraciones estáticas.

### **2.2.5.2.1 AGENTES ABIÓTICOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA**

#### **2.2.5.2.1.1 DAÑOS PRODUCIDOS POR EL AGUA**

El agua en contacto con la madera, penetra a través de las fibras saturando los poros tubulares y cuando alcanza grados de humedad entre el 25 – 35% produce cambios dimensionales como hinchazón y deformación. Afecta al duramen y solo en algunas ocasiones a la albura, creando las condiciones idóneas para la aparición de hongos de pudrición y manteniendo las condiciones de hábitat de insectos xilófagos, termitas y carcoma fundamentalmente; la humedad excesiva en la madera influyen en su degradación superficial, debido a las microfisuras que aparecen como consecuencia de los repetidos hinchamientos y retracciones que se producen con la variación higrométrica (Fritz, 2004).

#### **2.2.5.2.1.2 DAÑOS PRODUCIDOS POR VARIACIONES DE TEMPERATURA**

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. La madera soporta los cambios de temperatura siempre que estos se presenten en forma lentas y progresiva, caso contrario se presentas grietas y fisuras, originado así vías de entrada de humedad y favoreciendo a la aparición de hongos. Se puede concluir que el daño esperado se concentra en las capas externas de la madera, ya que se producen tensiones alternas de compresión y dilatación que se traducen en una desintegración mecánica de las capas superficiales (Fritz, 2004).

Para que los agentes biológicos se desarrollen y subsistan se requiere que existan ciertas condiciones como son:

- Fuente de material alimenticio para su nutrición.



- Temperatura para su desarrollo. El intervalo de temperatura es de 3° a 50°, siendo el óptimo alrededor de los 37 °C.
- Humedad entre el 20 % y el 140 %, para que la madera pueda ser susceptible de ataques de hongos. Por debajo del 20 %, el hongo no puede desarrollarse y por sobre 140 % de humedad, no existe el suficiente oxígeno para que pueda vivir.
- Una fuente de oxígeno suficiente para la subsistencia de los microorganismos.

#### 2.2.5.2.2 AGENTES BIÓTICOS DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Los agentes de degradación de la madera son principalmente bióticos, o sea vinculados a organismos vivos. Estos agentes generalmente aparecen vinculados con agentes abióticos, principalmente con la humedad, ya que facilita su desarrollo y difusión; se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos principalmente, estos destruyen las células que la componen, afectando sus propiedades físicas y químicas; aunque puede existir la acción de plagas como la de los roedores o aves que degradan de igual manera a la madera (Fritz, 2004).

- Hongos de pudrición o xilófagos
- Mohos
- Insectos de la madera
- Termitas
- Lictidos o polillas

TABLA 7 CONDICIONES DE DESARROLLO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE AGENTES BIÓTICOS

AGENTE	MADERA	HUMEDAD
Hongos cromógenos	Todas	Elevada
Hongos xilófagos	Albura de las coníferas	Elevada
Mohos	Todas	Elevada
Carcoma común	Todas	Natural
Carcoma grande	Albura	Natural
Polilla	Albura de algunas frondosas	Natural
Termita	Todas	Elevada

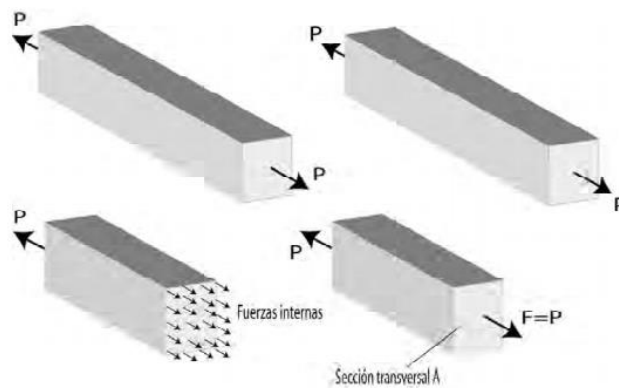
Fuente: Manual de la Corma de construcción en madera

## 2.2.6 TEORÍA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

### 2.2.6.1 ESFUERZOS NORMALES

Según (Singer Ferdinand L., 1994), cuando una fuerza  $P$  actúa a lo largo de una barra su efecto sobre la misma depende no solo del material sino de la sección transversal que tenga la barra, de tal manera que a mayor sección mayor será la resistencia de la misma. Se define entonces el esfuerzo axial o normal como la relación entre la fuerza aplicada y el área de la sección sobre la cual actúa. O en otros términos como la carga que actúa por unidad de área del material.

FIGURA 24 ESFUERZOS SIMPLES



Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Siendo

$P$ : Fuerza axial (N)

$A$ : Sección transversal ( $\text{m}^2$ )

### 2.2.6.2 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

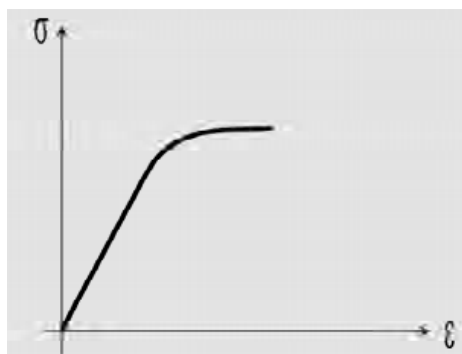
Según (Singer Ferdinand L., 1994), la resistencia de un material no es el único criterio que debe utilizarse al diseñar estructuras. Frecuentemente la rigidez suele tener la misma mayor importancia. En menor grado otras propiedades tales como la dureza, la tenacidad y ductilidad también influyen en la elección de un

material. Estas propiedades se determinan mediante pruebas, comparando los resultados obtenidos con patrones establecidos.

### 2.2.6.3 LEY DE HOOKE

Según (Singer Ferdinand L., 1994), relaciona fuerzas y deformaciones. Para estudiar las propiedades de un material, deben relacionarse cantidades unitarias de esfuerzo  $\sigma$  y deformación  $\varepsilon$  de tal manera que en la ley queden obviadas el área y la longitud de la probeta ensayada.

FIGURA 25 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

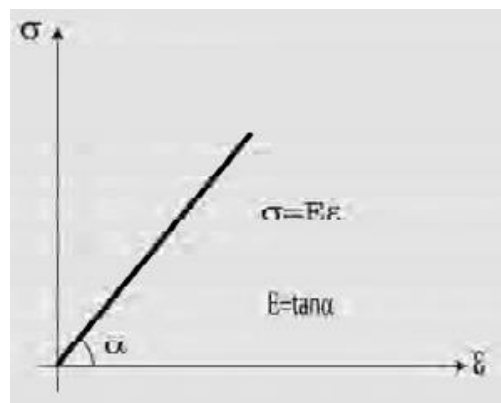


Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

### 2.2.6.4 MODULO DE ELASTICIDAD

Según (Singer Ferdinand L., 1994), la pendiente inicial de la gráfica nos dice como varían las deformaciones unitarias al incrementarse los esfuerzos. Esta primera parte de la gráfica es lineal presentando se por tanto una relación directa entre Esfuerzos y Deformaciones.

FIGURA 26 DIAGRAMA DE MODULO DE ELASTICIDAD



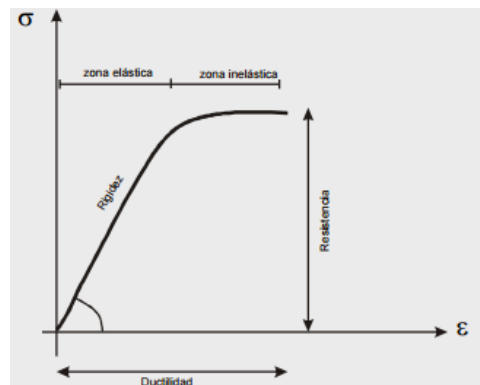
Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

Si escribimos la ecuación de la recta obtendremos la expresión actual de la ley de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Siendo E, la pendiente de la recta. Este valor que se caracteriza de cada materia se conoce como el módulo de elasticidad o módulo de Young y nos dice que tan rígido es un material.

FIGURA 27 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN



Fuente: Resistencia de Materiales Singer y Pytel

## 2.2.6.5 ESFUERZO CORTANTE O CIZALLAMIENTO

Según (Singer Ferdinand L., 1994), el esfuerzo cortante o de cizallamiento, a diferencia de compresión, es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano que las resiste, mientras que los de tensión o de compresión lo son por fuerzas normales al plano en que actúan. Por esta razón, los esfuerzos de tensión y compresión se llaman también esfuerzos normales, mientras que el esfuerzo cortante también puede denominarse esfuerzo tangencial.

## 2.2.7 CRITERIOS ESTADÍSTICOS

### 2.2.7.1 MEDIA ARITMÉTICA

Según (Lages Elon, 2000), la media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de





todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestra siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$X \text{ prom} = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

$\Sigma$  = Sumatoria de datos

$N$  = Numero de datos

### 2.2.7.2 VARIANZA

Según (Lages Elon, 2000), la varianza es aquella medida de dispersión que ostenta una variable aleatoria respecto a su esperanza. La varianza se relaciona con la desviación típica o desviación estándar, la cual se denota a través de la letra griega denominada sigma y que será la raíz cuadrada de la varianza.

Para calcular la varianza será necesario seguir los siguientes pasos: primero deberemos calcular la media, es decir, el promedio de los números, luego, por cada número, deberemos restar la media y elevar el resultado al cuadrado y finalmente la media de esas diferencias al cuadrado. La principal función y utilidad que se le puede encontrar a la varianza es que nos permite saber y determinar qué es normal, qué es grande, qué es pequeño, aquello que es extra grande o bien aquello que es extra pequeño.

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma(Xi - \mu)^2}{N}$$

$\sigma^2$  =Varianza

$Xi$  =Variable o Dato estadístico

$\mu$  = Promedio aritmético

$N$  = Numero de datos

### 2.2.7.3 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

De acuerdo a (Lages Elon, 2000), la desviación típica o desviación estándar es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o



cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}}$$

$\sigma$  =Desviación Estándar

$X_i$  =Variable o Dato estadístico

$\mu$  = Promedio aritmético

$N$  = Numero de datos

#### 2.2.7.4 COEFICIENTE DE VARIACIÓN

De acuerdo a (Lages Elon, 2000), el coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias.

$$CV = \frac{S}{\mu}$$

$S$  = Desviación estándar

$\mu$  =Media aritmetica

#### 2.2.7.5 CRITERIO DE CHAUVENET

Según (Sales de Lopez, 2005), el criterio de Chauvenet es un método para calcular si un dato experimental, de un conjunto de datos experimentales, es probablemente un valor atípico. Para aplicar el Criterio de Chauvenet, primero se ha de calcular la media y la desviación estándar (típica) de la información



observada. Basándose en cuánto difiere el valor dudoso de la media, se utiliza la función de distribución normal (o la tabla de la misma) para determinar la probabilidad de que una dato dado sea del valor del dato dudoso.

$$\frac{ABS(Xi-\mu)}{S} \leq 2.0$$

$Xi$  = Variable o Dato estadístico

$\mu$  = Promedio aritmético

$S$  = Desviación estándar

$ABS$  = Valor absoluto

### 2.2.7.6 VALOR REPRESENTATIVO DE LA MUESTRA

El manual de maderas para el grupo andino (1987) propone que el valor correspondiente al 5% de exclusión, se tome como dato representativo del ensayo. Para obtener el percentil 5 se puede utilizar la función probabilista (t) Student. La función (t) de student es muy parecida a la función normal, pero se aplica mucho para muestras pequeñas, de datos o ensayos. (Spiegel, 1973).

#### 2.2.7.6.1 PRUEBA DE T DE STUDENT

Una variable con distribución t de Student se define como el cociente entre una variable normal estandarizada y la raíz cuadrada positiva de una variable 2 dividida por sus grados de libertad. Se aplica cuando la población estudiada sigue una distribución normal pero el tamaño muestra es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la inferencia esté normalmente distribuido, utilizándose una estimación de la desviación típica en lugar del valor real.

$$PER\ 5\% = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$\mu$  = Promedio aritmético

$N$  = Numero de datos

$S$  = Desviación estándar

$t_{0.95}$  = Valor de la función (t) para una probabilidad del 95%

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

###### 3.1.1.1 POR SU FINALIDAD

Este tipo de investigación fue aplicada pues utilizamos una serie de conocimientos de ingeniería para solucionar los problemas propios de la ingeniería civil en beneficio de la sociedad para finalmente obtener un producto final.

###### 3.1.1.2 POR SU ENFOQUE

Según (SAMPIERI, 1991) la investigación fue cuantitativa con un alcance correlacional, porque se basó en resultados medibles, obtenidos en ensayos de laboratorio, los cuales tienen unidades de medida como la densidad básica, el módulo de elasticidad, flexión, compresión paralela, compresión perpendicular, corte paralelo y tracción paralela, luego se utilizó métodos estadísticos para validar los datos obtenidos en dichos ensayos.

##### 3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Según (SAMPIERI, 1991) la investigación fue de nivel Descriptivo ya que el propósito de la tesis fue describir las características y propiedades del material a través de procesos que no solamente se limita a la recolección de datos por medio de ensayos de laboratorio, sino a la predicción e identificación según el grupo estructural al que pertenezca utilizando la Norma Técnica Peruana E 010, a fin de extraer generalidades significativas que contribuyan al conocimiento.

##### 3.1.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a (SAMPIERI, 1991) el método de la investigación fue Hipotético-Deductivo porque en la tesis se plantea la hipótesis general y sub hipótesis con respecto a las características físico mecánicas admisibles para el uso normado y cumpliendo los requisitos de resistencia, cuyas afirmaciones son verificadas



por medio de ensayos en laboratorio, siendo finalmente elaboradas conclusiones que respondan a la hipótesis de la investigación.

### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

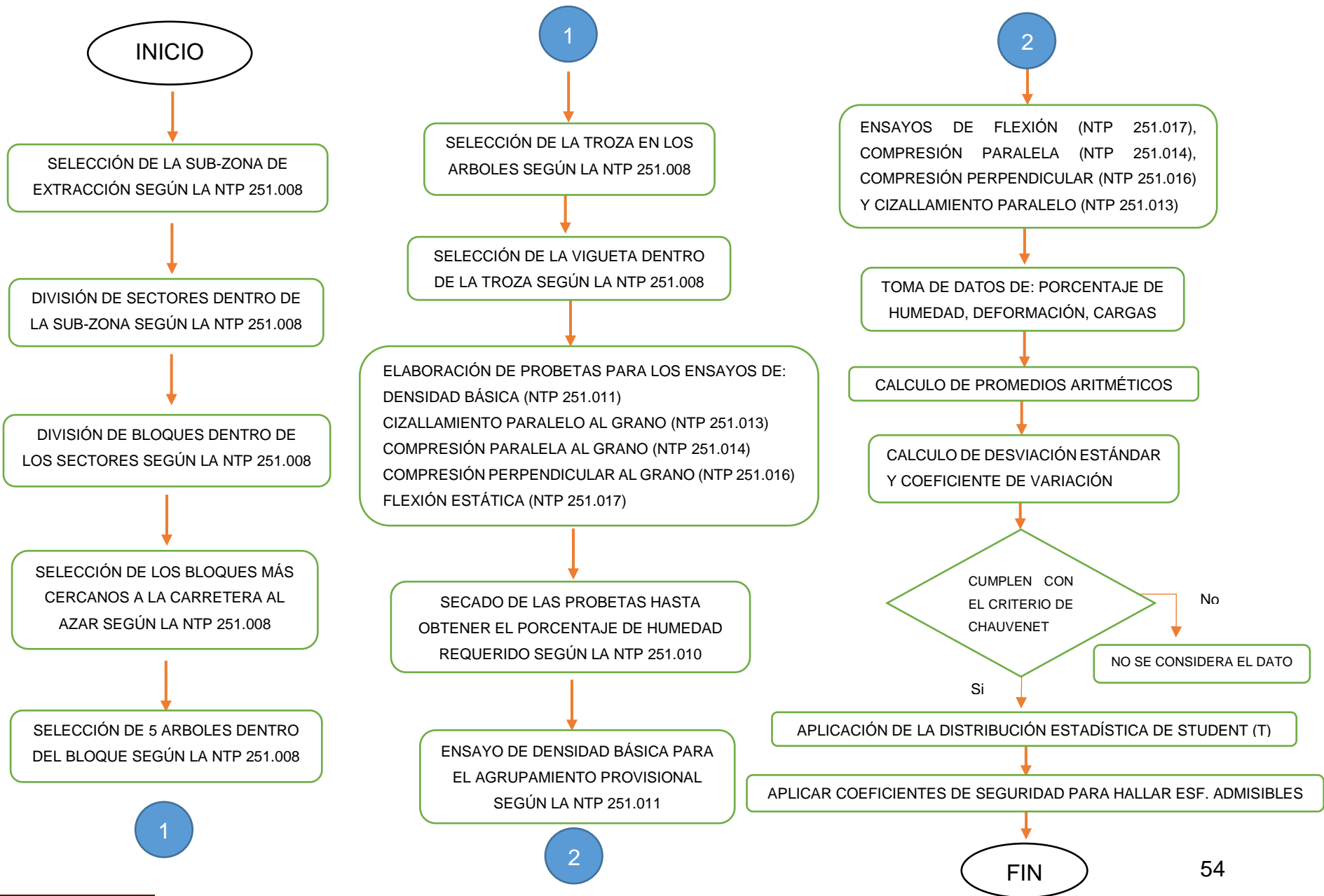
#### **3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO**

Según (SAMPIERI, 1991), el diseño de investigación de la tesis fue no-experimental transversal, ya que fue una investigación sistemática en la que las variables independientes no se manipularon porque ya sucedieron, la inferencia sobre las relaciones entre variables se realizaron sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observaron tal y como se dieron en su contexto natural, y transversal ya que la recolección de datos se dio en un momento único y su propósito fue de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Se realizaron una serie de probetas de diferentes tamaños y formas para evaluar las propiedades físico-mecánicas (probetas con contenido de humedad natural y seca)



### 4. DISEÑO DE INGENIERÍA





### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 POBLACIÓN**

##### **3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN**

###### **3.3.1.1.1 POBLACIÓN**

Dicha población estuvo constituida por los árboles de Eucalipto Globulus de la zona de Paruro Cusco de los cuales se obtuvieron probetas que fueron estudiadas mediante ensayos que determinaron sus propiedades físico-mecánicas en dos estados de contenido de humedad según las siguientes normas: densidad básica (NTP 251.011), cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión, perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017).

##### **3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN**

Se consideraron las especies arbóreas de Eucalipto Globulus de la zona de Paruro Cusco que están dispersas en un área de 1984km<sup>2</sup>.

#### **3.3.2 MUESTRA**

##### **3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra estuvo constituida por los Eucaliptos Globulus de la zona de Paruro Cusco que cumplieron con una altura mínima de 6 metros y el tronco recto.

##### **3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra estuvo constituida por los troncos de Eucaliptos Globulus que serán evaluados, para lo cual se aplicó como criterio de evaluación la fabricación de probetas que se consigna en el ITEM 3.3.2.4

##### **3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO**

El método de muestreo que se utilizó en la investigación fue no probabilístico específicamente censal o por conveniencia debido a que se seleccionó los



troncos dentro de un bloque de árboles dada la conveniencia de accesibilidad y el buen estado de los árboles.

#### **3.3.2.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA**

Se realizaron 200 probetas a partir de 5 troncos según la NTP 251.008, para evaluar las propiedades físico-mecánicas, las cuales se repartieron en 2 grupos por contenido de humedad, es decir se tuvo 100 probetas para contenido de humedad seco y 100 probetas para contenido de humedad natural, de las cuales cada 20 probetas por grupo fueron evaluados para los siguientes ensayos: densidad básica (NTP 251.011), cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017).

Grupo Contenido de Humedad Natural.- Este grupo estuvo constituido por probetas con contenidos de humedad superiores al 30% que no fueron modificadas por ningún tipo de secado. Dicho grupo contiene 100 probetas para los siguientes ensayos: densidad básica, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo. Examinándose 20 probetas por cada ensayo.

Grupo Contenido de Humedad Seco.- Este grupo estuvo constituido por probetas con contenidos de humedad al 12% que fueron modificadas por secado al horno. Dicho grupo contiene 100 probetas para los siguientes ensayos: densidad básica, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo. Examinándose 20 probetas por cada ensayo.

Las probetas fueron evaluadas mediante los ensayos de: cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013), compresión paralela al grano (NTP 251.014), compresión perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017), para hallar los esfuerzos básicos, mientras que para hallar la densidad se evaluarán mediante el ensayo de densidad básica (NTP 251.011). Los valores para el módulo de elasticidad (mínimos y promedios) fueron obtenidos en base a los ensayos de flexión mientras que para los valores de esfuerzo a la tracción se considerará el 70% de los esfuerzos admisibles correspondientes a flexión de





acuerdo a lo consignado en la NTP E.010. Los esfuerzos admisibles se determinaron aplicando la siguiente expresión

$$\text{ESFUERZOS ADMISIBLES} = \frac{\text{F. C.} \times \text{F. T.}}{\text{F. S.} \times \text{F. D. C.}} \times \text{Esfuerzos Basicos}$$

F.C.= Coeficiente de reduccion por calidad (defectos)

F.T.= Coeficiente de reduccion por tamaño

F.S.= Coeficiente de seguridad

F.D.C.= Coeficiente de duracion de carga

Todos estos coeficientes estan dados por la siguiente tabla

**TABLA 8 COEFICIENTES DE REDUCCIÓN, SEGURIDAD Y DURACIÓN DE CARGA**

	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	CORTE PARALELO	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
F.C.	0.80	*	*	*
F.T.	0.90	*	*	*
F.S.	2.00	1.60	4.00**	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	*	*

(\*) Incluido en F.S.

(\*\*) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2.00 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la pieza

Fuente: Norma Técnica Peruana E.010

**TABLA 9 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA DE PROBETAS**

Ensayos /Humedad	DENSIDAD	MODULO DE ELASTICIDAD	FLEXIÓN
HUMEDAD AL 12%	20	0	20
HUMEDAD >30%	20	0	20
Ensayos /Humedad	TRACCIÓN PARALELA	TRACCIÓN PERPENDICULAR	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
HUMEDAD AL 12%	0	20	20
HUMEDAD >30%	0	20	20
Ensayos /Humedad	CORTE PARALELO		
HUMEDAD AL 12%	20		
HUMEDAD >30%	20		

Humedad	TOTAL
HUMEDAD AL 12%	100
HUMEDAD >30%	100
	200

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

#### 3.3.3.1 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

- El contenido de humedad fue mayor al 30% por lo cual las probetas no fueron modificadas por ningún tipo de secado.
- Las probetas fueron protegidas de acuerdo a lo indicado en la NTP 251.009 hasta el día de su ensayo.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los defectos consignados en el ITEM 2.2.3.8.1.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los agentes destructores consignados en el ITEM 2.2.4.2.
- Para la aceptación de las probetas se debía cumplir con las dimensiones estipuladas en la NTP 251.010 (contenido de humedad), NTP 251.011 (densidad), NTP 251.013 (corte paralelo), NTP 251.014 (compresión paralela), NTP 251.016 (compresión perpendicular) y NTP 251.017 (flexión estática).

#### 3.3.3.2 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO



- El contenido de humedad fue aproximadamente 12% por lo cual la probeta será secada al horno.
- El secado al horno fue a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C.
- Las probetas fueron protegidas de acuerdo a lo indicado en la NTP 251.009 hasta el día de su ensayo.
- Las probetas tuvieron que estar libres de los defectos consignados en el ITEM 2.2.3.8.1.
- Las probetas tendrán que estar libres de los agentes destructores consignados en el ITEM 2.2.4.2.
- Para la aceptación de las probetas se debía cumplir con las dimensiones estipuladas en la NTP 251.010 (contenido de humedad), NTP 251.011 (densidad), NTP 251.013 (corte paralelo), NTP 251.014 (compresión paralela), NTP 251.016 (compresión perpendicular) y NTP 251.017 (flexión estática).

### 3.4 INSTRUMENTOS

Se utilizaron una serie de instrumentos para la recolección de datos en laboratorio para su respectivo procesamiento en gabinete para los ensayos de: Densidad básica, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, cizallamiento paralelo al grano y flexión estática.

#### 3.4.1 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TABLA 10 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>	
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>	
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Formato N°01		
TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"		
TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre		
LOAIZA MORA, Elvis Fernando		
MÉTODO DE SECADO		
EQUIPO		
FECHA		N° DE PROBETA
ESTADO	HUMEDO	
	SECO	
DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA
Luz (cm)		Masa antes del secado (g)
Ancho (cm)		Masa despues del secado (g)
Esesor (cm)		CÁLCULOS NUMÉRICOS
		RESULTADO
		Contenido de humedad (%)

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 11 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA

**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO**

Formato N°02

TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre  
 LOAIZA MORA, Elvis Fernando

EQUIPO UTILIZADO			
FECHA		N° DE PROBETA	
ESTADO	HÚMEDO		
	SECO		


DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA	
Luz (cm)		Peso húmedo (gr)	
Ancho (cm)		Peso seco (gr)	
Espesor (cm)		Contenido de humedad %	
P' (kg)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	
P (kg)		CÁLCULOS NUMÉRICOS	RESULTADOS
		Esfuerzo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Esf/ Limit propor (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Modulo Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Densidad (g/cm <sup>2</sup> )	


	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (mm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 12 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO**

Formato N°03

TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

# PROBETA	ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA HUMEDAD SECO						CARGAS		DEFORMACIÓN	
	Largo	Ancho	Espesor	Área	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	P'(kg)	P (kg)	Dl (cm)

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 13 RECOLECCIÓN DE DATOS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR

**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

---

**MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**

Formato N°04

**TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"**

TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre  
 LOAIZA MORA, Elvis Fernando

EQUIPO UTILIZADO			
FECHA		N° DE PROBETA	
ESTADO	HÚMEDO		
	SECO		

DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA	
Luz (cm)		Peso húmedo (gr)	
Ancho (cm)		Peso seco (gr)	
Espesor (cm)		Contenido de humedad %	
P' (kg)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	
P (kg)		CÁLCULOS NUMÉRICOS	RESULTADOS
		Esfuerzo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Esf/ Limit propor (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Modulo Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Densidad (g/cm <sup>2</sup> )	


  

P máx (kg)	
------------	--


  

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 14 RECOLECCIÓN DE DATOS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**

Formato N°05  
 TESIS: “DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL”

# PROBETA	ENSAYO COMPRESIÓN PERPENDICULAR HUMEDAD SECO							CARGA FINAL	
	Largo	Ancho	Espesor	Área	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	P (kg)	

Fuente: Elaboración Propia



TABLA 15 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA**

Formato N°06

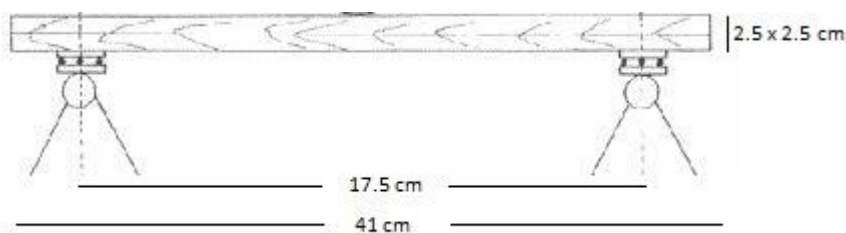
TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre  
 LOAIZA MORA, Elvis Fernando

EQUIPO UTILIZADO			
FECHA		N° DE PROBETA	
ESTADO	HÚMEDO		
	SECO		


DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA	
Luz (cm)		Peso húmedo (gr)	
Ancho (cm)		Peso seco (gr)	
Espesor (cm)		Contenido de humedad %	
P' (kg)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	
P (kg)		CÁLCULOS NUMÉRICOS	RESULTADOS
Y (cm)		Esfuerzo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Esf/ Limit propor (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Modulo Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Densidad (g/cm <sup>2</sup> )	

	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (mm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		




Fuente: Elaboración Propia

TABLA 16 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA**

Formato N°07  
TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

# PROBETA	ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA HUMEDAD SECO						CARGAS		DEFORMACIÓN		
	Largo	Luz	Ancho	Espesor	Área	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	P (kg)	P' (kg)	DI (cm)

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 17 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**MÉTODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO**

Formato N°08

TESIS: “DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL”

TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre  
 LOAIZA MORA, Elvis Fernando


EQUIPO UTILIZADO			
FECHA		N° DE PROBETA	
ESTADO	HUMEDO		
	SECO		

DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA	
H (cm)		Peso humedo (gr)	
E (cm)		Peso seco (gr)	
L (cm)		Contenido de humedad %	
h1 (cm)		Calculos Numericos	
E1 (cm)		Resistencia al cizallamiento (kg/cm2)	
h2 (cm)			
E2 (cm)			

P máx (kg)	
------------	--

Fuente: Elaboración Propia


TABLA 18 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



MÉTODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

Formato N°09

TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

# PROBETA	ENSAYO CORTE PARALELO SECOS						CARGA MÁXIMA	
	H pbta (cm)	E pbta (cm)	Área	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	Fuerza (kn)	P (kgf) <small>(Fuerza 0.009807)</small>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 19 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD BÁSICA**

Formato N°10

TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"

TESISTAS: DEL PEZO MANYA, Marquinho Andre  
 LOAIZA MORA, Elvis Fernando

EQUIPO UTILIZADO			
FECHA		N° DE PROBETA	
ESTADO	HUMEDO		
	SECO		



DATOS DE LA PROBETA		HUMEDAD DE LA PROBETA	
Luz (cm)		Peso anhidrido (gr)	
Ancho (cm)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	
Espesor (cm)		CÁLCULOS NUMÉRICOS	RESULTADOS
		Densidad basica (g/cm <sup>3</sup> )	



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 20 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 	<p>MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD BÁSICA</p> <p>Formato N°11</p> <p>TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL EVALUADOS CON LA NORMA TÉCNICA PERUANA E. 010 PARA SU AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL"</p>	<p><b>ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># PROBETA</th> <th>Luz</th> <th>Ancho</th> <th>Espesor</th> <th>Volumen</th> <th>% de humedad</th> <th>Peso Húmedo (g)</th> <th>Peso Anhidrido (g)</th> <th>Densidad Básica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	# PROBETA	Luz	Ancho	Espesor	Volumen	% de humedad	Peso Húmedo (g)	Peso Anhidrido (g)	Densidad Básica																																																																																																																																																																																				
# PROBETA	Luz	Ancho	Espesor	Volumen	% de humedad	Peso Húmedo (g)	Peso Anhidrido (g)	Densidad Básica																																																																																																																																																																																							

Fuente: Elaboración Propia



### 3.4.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

Los instrumentos utilizados en la tesis fueron los siguientes:

- 1) **Balanza**, La resolución de lectura de la balanza deberá ser como mínimo de 0.1% de la masa nominal de la muestra secada al horno.
- 2) **Horno**, Se utilizara una estufa que pueda mantener una temperatura de  $103 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- 3) **Medido de Humedad Electrónico**, Medidor con lectura en % de humedad de la madera
- 4) **Deflectrometro**, Se utilizara un reloj comparador que tiene una precisión de 0.001 pulgadas.
- 5) **Placas de Acero**, Que se acoplaran a las maquinas.
- 6) **Cizalla**, Pieza central móvil acoplada la máquina de ensayo universal.
- 7) **Máquina de Ensayo Universal**, Capaz de aplicar una fuerza superior a 2000kg.
- 8) **Máquina de Flexión**, Capaz de aplicar una carga de 2000kg.
- 9) **Pinzas**

## 3.5 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LAS PROBETAS

#### 3.5.1.1 SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS (NTP 251.008)

##### 3.5.1.1.1 OBJETIVO

- Procedimientos ejecutados para realizar la selección y colección de muestras destinadas al estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas que permitan obtener resultados representativos y comparables.

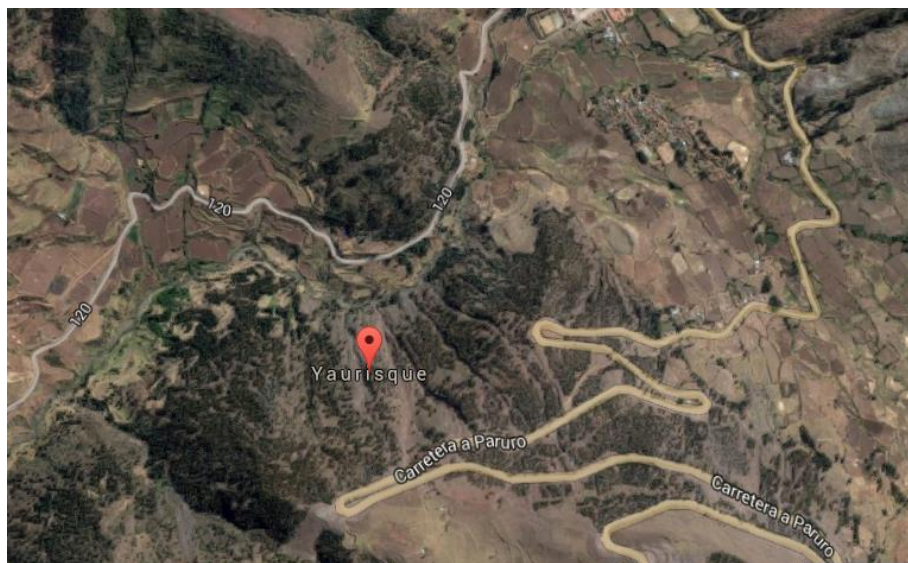
##### 3.5.1.1.2 EQUIPOS

- Motosierra
- Wincha

### 3.5.1.1.3 PROCEDIMIENTOS

- Se hizo una selección de la zona para lo cual se tuvo q tener conocimiento con anterioridad del volumen de madera existente de la especie en dicho lugar, en nuestro caso la localidad de Paruro-Cusco con un área de 1'984,42 Km<sup>2</sup>.
- Luego se eligió una sub-Zona dentro de la localidad de Paruro con una área de 90.8 Km<sup>2</sup>. correspondiente al lugar denominado Yaurisque.

FIGURA 28 UBICACIÓN DE YAURISQUE



Fuente: Google Maps

- Dentro de la sub-Zona se seleccionó un bloque, dicho bloque era el más cercano a la trocha, del cual se extrajo la cantidad de árboles requeridos.
- La cantidad de árboles seleccionados dependió del grado de precisión que se deseó lograr, en nuestro caso se trabajó con una seguridad estadística del 95% y un intervalo de confianza de más o menos 15%, para lo cual la NTP 251.008 nos indica que debemos tomar como mínimo 5 árboles.
- Para la selección de árboles se caminó en una dirección determinada y se escogió a los arboles con un mínimo de 6m de altura y un diámetro de 25 a 30cm libres de imperfecciones.
- Se procedió a su tala y a su corte en trozas de 1.1m de longitud teniendo un promedio de 6 trozas por árbol cortado.



**FIGURA 29 SELECCIÓN DE LA SUB ZONA**



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

**FIGURA 30 MEDICIÓN DE LOS ARBOLES**



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Se trasladaron las trozas a la ciudad del Cusco.

**FIGURA 31 TRASLADO DE UN GRUPO DE TROZAS**



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Seguidamente se cortaron piezas del medio de cada una de la trozas, con un espesor y ancho según lo requerido para cada probeta.
- De dichas piezas se fabricaron la cantidad de probetas requeridas con los tamaños especificados para cada ensayo.

**FIGURA 32 CORTE DE LAS PROBETAS**



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

### 3.5.1.2 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 251.009)

#### 3.5.1.2.1 OBJETIVO

- Determinar el contenido de humedad (CH) de la madera solida bajo métodos primarios y secundarios.
- Determinar el contenido de humedad referidos a la base seca a la estufa u horno.

#### 3.5.1.2.2 EQUIPOS

- Medidor electrónico de Humedad
- Horno

#### 3.5.1.2.3 PROCEDIMIENTO

- Se determinó el porcentaje de humedad de las 100 probetas con contenido de humedad natural con ayuda del medidor electrónico de humedad antes de cada ensayo.

FIGURA 33 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN UNA PROBETA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Así también se determinó el porcentaje de humedad de las 100 probetas con contenido de humedad seco, antes y después de haber pasado por el horno a una temperatura de 103°C, con ayuda del mismo medidor electrónico de humedad antes de cada ensayo.

FIGURA 34 CONTENIDO DE HUMEDAD SECO EN UNA PROBETA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 35 CONTENIDO DE HUMEDAD SECO EN UNA PROBETA CUADRADA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

### 3.5.1.3 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (NTP 251.011)

#### 3.5.1.3.1 OBJETIVO

- Determinar la densidad de la madera bajo diferentes condiciones de contenido de humedad.

#### 3.5.1.3.2 EQUIPOS

- Balanza
- Wincha

#### 3.5.1.3.3 PROCEDIMIENTO

- El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.
- Se prepararon 40 probetas de 3cm por 3cm de sección transversal y 10cm de longitud para este ensayo.
- Las probetas se pesaron en su estado natural una por una, dando su peso en gramos la cual se obtuvo directamente por lectura en una balanza.
- El volumen se determinó de manera directa tomando medición con la precisión requerida, siendo ancho (b) en cm, la altura (h) en cm y la longitud (l) en cm. El valor del volumen se obtuvo aplicando la siguiente formula:  $V = b * h * l$  (cm<sup>3</sup>).

FIGURA 36 PESADO DE LAS PROBETAS EN ESTADO NATURAL



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Se determinó su porcentaje de humedad con la ayuda de un medidor electrónico de humedad para maderas.

FIGURA 37 MEDICIÓN DE HUMEDAD



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Enseguida las 40 probetas ensayadas se pusieron en bandejas y se llevaron al horno, para someterlas a un secado a una temperatura de 103 °C, hasta que alcanzaran un peso constante, aumentando la temperatura gradualmente (40 °C, 60 °C, 80 °C, 103 °C).

FIGURA 38 PROBETAS EN ESTADO ANHIDRO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Después de alcanzar un peso constante, se pesaron las 40 probetas dándonos el peso de la probeta en estado anhidro

FIGURA 39 PROBETAS DE DENSIDAD DESPUÉS DEL SECADO AL HORNO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 40 PROBETA PESADA DESPUÉS DEL SECADO AL HORNO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas



## 3.5.1.3.4 TOMA DE DATOS

Tabla 21 DATOS DENSIDAD BÁSICA (PROBETAS 1-20)

ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA								
# PROBETA	Larga (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	% de humedad	Peso Húmedo (gr)	Peso Anhidrido (gr)	Densidad Básica (gr/cm <sup>3</sup> )
1	9.98	3.01	3.00	90.12	38.00%	88.50	62.40	0.692
2	10.01	2.98	3.05	90.98	40.00%	95.10	66.50	0.730
3	10.05	2.98	3.00	89.85	41.00%	97.20	68.80	0.765
4	10.08	3.00	3.02	91.32	38.00%	89.70	63.60	0.696
5	10.00	3.05	2.95	89.98	39.00%	93.40	69.20	0.769
6	10.07	2.98	3.00	90.03	39.00%	91.50	69.60	0.773
7	10.08	3.10	3.00	93.74	41.00%	95.10	67.90	0.724
8	10.00	3.02	3.06	92.41	39.00%	89.90	60.30	0.652
9	10.01	3.00	3.05	91.59	39.00%	92.90	60.90	0.664
10	10.80	3.00	3.00	97.20	40.00%	84.30	64.30	0.661
11	10.50	3.00	3.02	95.13	39.00%	90.90	65.70	0.690
12	10.08	3.02	3.00	91.32	35.00%	89.90	63.90	0.699
13	10.00	3.00	3.05	91.50	37.00%	92.50	69.40	0.758
14	10.08	2.98	3.08	92.52	38.00%	92.00	67.00	0.724
15	10.08	3.00	3.05	92.23	38.00%	85.60	64.40	0.698
16	10.02	3.02	3.05	92.29	39.00%	91.80	68.20	0.738
17	10.02	3.03	3.00	91.08	41.00%	96.60	71.70	0.787
18	10.08	3.01	3.00	91.02	38.00%	92.00	62.70	0.688
19	10.08	3.00	3.00	90.72	38.00%	92.80	65.20	0.718
20	10.02	3.02	3.00	90.78	42.00%	96.50	74.50	0.820

Fuente: Elaboración Propia





Tabla 22 DATOS DENSIDAD BÁSICA (PROBETA 21-40)

ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA								
# PROBETA	Larga (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	% de humedad	Peso Húmedo (gr)	Peso Anhidrido (gr)	Densidad Básica (gr/cm <sup>3</sup> )
21	10.00	2.98	3.02	90.00	39.00%	94.70	72.30	0.803
22	10.50	3.00	3.05	96.08	38.00%	93.80	68.30	0.710
23	10.00	3.00	2.95	88.50	41.00%	94.20	73.90	0.835
24	10.00	3.00	3.05	91.50	35.00%	90.30	68.90	0.753
25	10.02	3.01	3.00	90.48	39.00%	92.10	68.70	0.759
26	10.04	3.03	3.00	91.26	38.00%	94.30	69.50	0.761
27	10.07	3.00	3.00	90.63	36.00%	91.70	68.50	0.755
28	10.10	3.00	3.01	91.20	41.00%	95.90	65.40	0.717
29	10.07	3.02	2.98	90.63	38.00%	89.50	62.20	0.686
30	10.05	3.02	3.00	91.05	38.00%	93.80	70.10	0.769
31	10.00	3.02	2.95	89.09	36.00%	95.60	74.50	0.836
32	10.02	3.00	3.03	91.08	42.00%	99.00	78.10	0.857
33	10.04	3.00	3.02	90.96	42.00%	95.30	75.40	0.828
34	10.06	3.03	3.00	91.45	41.00%	91.30	71.40	0.780
35	10.00	3.00	3.04	91.20	39.00%	97.10	73.80	0.809
36	10.10	3.00	3.00	90.90	42.00%	97.30	73.80	0.811
37	10.02	3.03	3.02	91.69	40.00%	95.40	71.30	0.777
38	10.00	3.02	3.10	93.62	41.00%	93.40	70.40	0.751
39	10.05	3.04	3.00	91.66	39.00%	91.80	70.70	0.771
40	10.05	3.03	3.04	92.57	37.00%	93.30	69.30	0.748

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.1.4 MÉTODO PARA DETERMINAR EL CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (NTP 251.013)

#### 3.5.1.4.1 OBJETIVO

- Determinar los datos para calcular el esfuerzo de cizallamiento paralelo al grano.

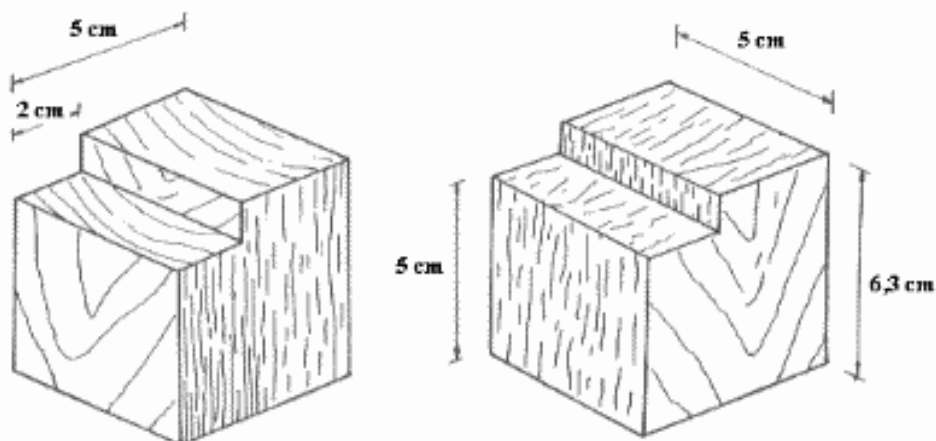
#### 3.5.1.4.2 EQUIPOS

- Máquina de ensayo universal
- Cizalla
- Wincha

#### 3.5.1.4.3 PROCEDIMIENTO

- El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.
- Se prepararon 40 probetas de 5 cm x 5 cm x 6.3 cm, recortadas en una de sus caras tal como lo indica en la Figura n°41.

FIGURA 41 MEDIDAS PARA LAS PROBETAS SOMETIDAS A CIZALLAMIENTO



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

- Se volvieron a corroborar las medidas de las 40 probetas antes de pesarlas
- Se pesaron las 40 probetas con contenido de humedad natural

- Se registró el porcentaje de humedad de las 40 probetas utilizando un medidor de humedad electrónico para madera.

FIGURA 42 PESADO DE LA PROBETA N° 1 CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Enseguida se llevaron 20 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

FIGURA 43 SECADO DE LAS PROBETAS AL HORNO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 20 probetas del horno y se procedió a su pesaje.
- Seguidamente se ensayaron las 20 probetas con contenido de humedad natural y las 20 probetas con contenido de humedad seco en el equipo de Ensayos Universal de Materiales, se acoplo una cizalla en la parte superior y una placa en la base con un espacio de 3mm del medio de la probeta.

FIGURA 44 MAQUINA DE ENSAYO DE CIZALLAMIENTO JUNTO CON LOS ACCESORIOS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Se registró la carga máxima soportada por las probetas hasta el momento de su falla o ruptura según no requerido por la NTP 251.0



## 3.5.1.4.4 TOMA DE DATOS

TABLA 23 DATOS CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

# PROBETA	ENSAYO CORTE PARALELO SECOS						CARGA MÁXIMA	
	H pbta (cm)	E pbta (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Fuerza (Kn)	P (kgf) (Fuerza/0.009807)
1	5.10	4.80	24.48	39.00%	110.31	97.50	17.0	1733.517562
2	5.10	5.10	26.01	39.00%	146.88	129.50	17.0	1733.517562
3	5.20	5.10	26.52	37.00%	145.87	128.90	18.0	1835.489183
4	5.00	5.00	25.00	38.00%	141.04	125.60	18.5	1886.474994
5	5.00	5.00	25.00	39.00%	124.58	119.17	17.5	1784.503373
6	5.10	5.00	25.50	36.00%	133.26	115.40	17.0	1733.517562
7	5.10	5.00	25.500	38.00%	140.55	121.90	16.4	1672.334589
8	5.10	5.10	26.01	37.00%	132.28	115.90	17.0	1733.517562
9	5.00	4.90	24.50	31.00%	120.92	106.90	18.0	1835.489183
10	5.00	5.10	25.50	38.00%	135.43	129.65	18.0	1835.489183
11	5.10	5.00	25.50	33.00%	120.78	105.60	17.5	1784.503373
12	5.10	4.80	24.48	39.00%	136.59	121.50	17.0	1733.517562
13	5.00	5.10	25.50	36.00%	142.65	127.10	18.0	1835.489183
14	5.10	5.00	25.50	40.00%	137.44	121.70	18.5	1886.474994
15	5.00	4.90	24.50	40.00%	134.97	129.10	19.0	1937.460805
16	5.00	5.00	25.00	37.00%	129.48	114.50	17.9	1825.292021
17	4.90	4.90	24.01	36.00%	134.11	116.30	18.0	1835.489183
18	5.00	5.00	25.00	38.00%	134.83	118.40	18.0	1835.489183
19	5.10	5.10	26.01	36.00%	140.80	124.90	19.0	1937.460805
20	5.10	4.90	24.99	41.00%	138.23	128.70	19.2	1957.855129

Fuente: Elaboración Propia



TABLA 24 DATOS CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

ENSAYO CORTE PARALELO HÚMEDAS							CARGA MÁXIMA	
# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Fuerza (Kn)	P (kgf) (Fuerza/0.009807)
1	5.00	4.90	24.50	38.00%	127.58	-	16.0	1631.545941
2	4.90	5.00	24.50	43.00%	141.39	-	13.0	1325.631077
3	5.10	5.00	25.50	40.00%	128.16	-	16.5	1682.531751
4	5.10	5.00	25.50	37.00%	137.31	-	18.0	1835.489183
5	5.10	4.80	24.48	37.00%	132.20	-	16.5	1682.531751
6	5.00	5.00	25.00	38.00%	137.15	-	11.0	1121.687834
7	5.10	5.00	25.50	38.00%	139.04	-	15.0	1529.574319
8	5.10	5.00	25.50	41.00%	140.67	-	12.0	1223.659456
9	5.10	5.00	25.50	40.00%	143.45	-	12.0	1223.659456
10	5.00	5.10	25.50	40.00%	144.92	-	13.5	1376.616888
11	5.10	4.80	24.48	39.00%	133.22	-	12.0	1223.659456
12	5.10	5.00	25.50	38.00%	143.97	-	16.0	1631.545941
13	5.00	5.10	25.50	34.00%	135.55	-	13.5	1376.616888
14	5.00	5.00	25.00	38.00%	135.53	-	14.0	1427.602698
15	5.10	4.90	24.99	39.00%	138.96	-	17.0	1733.517562
16	5.20	5.00	26.00	38.00%	135.27	-	13.0	1325.631077
17	5.10	5.10	26.01	39.00%	137.31	-	13.5	1376.616888
18	5.00	4.90	24.50	40.00%	136.14	-	13.0	1325.631077
19	5.10	4.90	24.99	38.00%	126.89	-	14.0	1427.602698
20	5.20	5.00	26.00	38.00%	123.17	-	15.0	1529.574319

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.1.5 MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO (NTP 251.014)

#### 3.5.1.5.1 OBJETIVO

- Obtener el esfuerzo de compresión axial o paralela al grano en maderas sólidas.

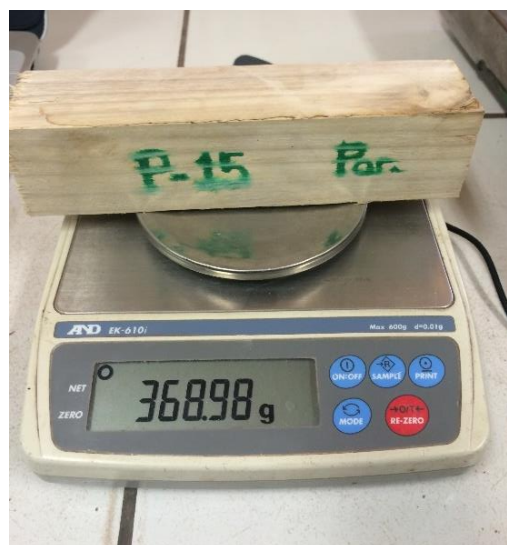
#### 3.5.1.5.2 EQUIPOS

- Máquina de ensayo universal
- Reloj comparador
- Wincha

#### 3.5.1.5.3 PROCEDIMIENTO

- El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.
- Se prepararon 40 probetas de 5cm por 5cm de sección transversal y 20cm de longitud para este ensayo.
- Se volvieron a tomar las medidas de cada una de las 40 probetas para corroborarlas.
- Se pesaron las 40 probetas con contenido de humedad natural.

FIGURA 45 PESADO DE LA PROBETA N° 15 SECA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Se registró el porcentaje de humedad de las 40 probetas utilizando un medidor de humedad electrónico para madera.
- Enseguida se llevaron 20 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.
- Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 20 probetas del horno y se procedió a su pesaje.

FIGURA 46 MEDICIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD SECO DE LA PROBETA N° 15



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Seguidamente se ensayaron las 20 probetas con contenido de humedad natural y las 20 probetas con contenido de humedad seco en la máquina de compresión axial, se aplicó la carga hasta que la muestra falle y registre la carga máxima.
- Se acoplo un reloj comparador a la máquina de compresión axial el cual registro las deformaciones durante el ensayo de compresión paralela, para poder fabricar la curva Carga-Deformación.



FIGURA 47 PROBETA N° 15 HÚMEDA LISTA PARA ENSAYAR



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

- Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.014.

FIGURA 48 PROBETAS HÚMEDAS Y SECAS DESPUÉS DE ENSAYARLAS



Fuente: Registro Fotográfico Tesista



3.5.1.5.4 TOMA DE DATOS

TABLA 25 DATOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA HUMEDAD SECO								CARGAS		DEFORMACIÓN
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	P´(kg)	P (kg)	DI (cm)
1	20.00	5.00	5.05	25.25	40.00%	429.86	375.38	2490	3510	0.0635
2	20.10	5.00	5.10	25.5	42.00%	443.83	389.57	4560	5750	0.1270
3	20.10	5.00	5.10	25.5	39.00%	405.75	361.72	6180	7380	0.12192
4	20.10	5.10	5.00	25.5	40.00%	491.54	444.29	5490	6540	0.15240
5	20.00	5.10	5.00	25.5	43.00%	476.17	443.15	5060	6920	0.12954
6	20.10	5.02	5.00	25.1	40.00%	473.59	419.21	5200	6650	0.10922
7	20.00	4.90	5.00	24.5	41.00%	446.34	390.59	6540	8480	0.12700
8	20.10	5.00	5.10	25.5	39.00%	469.43	410.5	5060	7730	0.11684
9	20.10	5.00	5.10	25.5	42.00%	495.42	427.00	5200	6960	0.12700
10	20.10	5.00	5.02	25.1	42.00%	488.10	443.74	5660	7010	0.15748
11	20.10	4.90	4.90	24.01	38.00%	468.58	415.20	5420	6510	0.11430
12	20.10	5.00	4.90	24.5	40.00%	413.69	360.04	5550	7610	0.09652
13	20.20	4.90	4.90	24.01	39.00%	445.00	384.42	5250	7620	0.15748
14	20.10	4.90	4.90	24.01	40.00%	431.59	377.80	6360	8260	0.15748
15	20.10	4.90	4.90	24.01	42.00%	415.91	368.98	6370	8460	0.14478
16	20.10	5.00	4.90	24.5	41.00%	401.82	355.90	6670	9460	0.15748
17	20.10	5.00	4.90	24.5	41.00%	452.14	399.31	5260	7690	0.12954
18	20.20	5.00	4.90	24.5	39.00%	460.96	409.08	5360	7950	0.13462
19	20.10	5.00	5.10	25.5	38.00%	436.40	389.50	6620	8390	0.12446
20	20.20	4.90	4.90	24.01	43.00%	450.88	402.65	5680	8480	0.1292

Fuente: Elaboración Propia



TABLA 26 DATOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA HUMEDAD NATURAL								CARGAS		DEFORMACIÓN
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	P' (kg)	P (kg)	DI (cm)
1	20.05	5.00	5.00	25.00	40.00%	424.01	-	6570	9370	0.19304
2	20.00	5.00	5.00	25.00	38.00%	417.43	-	5120	8440	0.12700
3	20.08	5.00	5.00	25.00	38.00%	470.37	-	4330	7010	0.11430
4	20.10	5.00	5.00	25.00	40.00%	489.77	-	2590	4080	0.05080
5	20.10	5.00	5.00	25.00	41.00%	500.42	-	4230	6470	0.15240
6	20.05	5.00	5.00	25.00	41.00%	479.85	-	3690	6690	0.01397
7	20.00	5.00	5.00	25.00	41.00%	445.05	-	3590	8140	0.10600
8	20.10	5.00	5.00	25.00	40.00%	473.49	-	4520	6620	0.11930
9	20.10	5.10	5.00	25.50	42.00%	433.47	-	3440	8780	0.13208
10	20.10	5.00	5.00	25.00	38.00%	448.95	-	3360	6650	0.07112
11	20.08	4.98	5.10	25.40	42.00%	417.29	-	4250	6550	0.12740
12	20.05	5.10	4.80	24.48	38.00%	420.95	-	3930	6460	0.08128
13	20.10	5.05	5.05	25.50	39.00%	459.38	-	3340	6390	0.05842
14	20.05	5.02	5.00	25.10	42.00%	464.36	-	3230	5410	0.05334
15	20.00	5.00	5.00	25.00	39.00%	449.22	-	3420	6520	0.07366
16	20.10	5.00	4.90	24.50	41.00%	455.96	-	4030	6720	0.09144
17	20.00	5.00	5.00	25.00	42.00%	436.64	-	4430	7510	0.12700
18	20.10	4.98	5.00	24.90	44.00%	408.70	-	4390	5380	0.09652
19	20.05	5.00	5.00	25.00	43.00%	468.70	-	4830	6620	0.11430
20	20.10	4.95	5.00	24.75	43.00%	444.50	-	6460	4370	0.10666

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.1.6 MÉTODO PARA DETERMINAR LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (NTP 251.016)

#### 3.5.1.6.1 OBJETIVO

- Obtener el esfuerzo de compresión perpendicular al grano en maderas sólidas.

#### 3.5.1.6.2 EQUIPOS

- Máquina de ensayo universal
- Reloj comparador
- Wincha

#### 3.5.1.6.3 PROCEDIMIENTO

- El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.
- Se prepararon 40 probetas de 5cm por 5cm de sección transversal y 15cm de longitud construidas de tal manera que sean perpendiculares al grano.
- Se volvieron a tomar las medidas de cada una de las 40 probetas para corroborarlas.

FIGURA 49 PROBETAS CON CORTE PERPENDICULAR AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Se pesaron las 40 probetas con contenido de humedad natural
- Se registró el porcentaje de humedad de las 40 probetas utilizando un medidor de humedad electrónico para madera.
- Enseguida se llevaron 20 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

**FIGURA 50 PROBETAS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR LLEVADAS AL HORNO**



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 20 probetas del horno y se procedió a su pesaje.
- Seguidamente se ensayaron las 20 probetas con contenido de humedad natural y las 20 probetas con contenido de humedad seco en la máquina de compresión axial, se aplicó la carga hasta que la muestra falle y registre la carga máxima.
- Se acoplo un accesorio que consistió en una pieza metálica maciza en forma de dado de 5cm x 5cm x 5cm con un pequeño brazo soldado

- Así mismo, se acoplo un reloj comparador a la máquina de compresión axial el cual registro las deformaciones durante el ensayo de compresión paralela, para poder fabricar la curva Carga-Deformación.

**FIGURA 51 ACONDICIONAMIENTO DE LA MAQUINA PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR**



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.016.



## 3.5.1.6.4 TOMA DE DATOS

TABLA 27 DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

ENSAYO COMPRESIÓN PERPENDICULAR HUMEDAD SECO								CARGA FINAL
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	P (kg)
1	15.10	5.10	5.10	26.01	42.00%	409.65	379.59	2640
2	15.20	5.10	5.10	26.01	40.00%	409.75	365.10	1800
3	15.10	5.00	5.00	25.00	40.00%	407.20	357.80	2650
4	15.00	5.00	5.10	25.50	40.00%	391.52	345.90	2790
5	15.20	5.10	5.00	25.50	42.00%	415.97	393.79	3090
6	15.00	5.10	5.10	26.01	38.00%	403.49	359.40	2230
7	15.00	5.10	5.00	25.50	37.00%	390.51	348.50	2620
8	15.10	5.10	5.00	25.50	39.00%	396.93	349.60	2610
9	15.00	5.00	5.02	25.10	43.00%	394.43	345.20	2500
10	15.10	5.10	5.10	26.01	37.00%	411.64	392.23	1410
11	15.10	5.00	5.10	25.50	42.00%	401.24	354.80	2640
12	15.10	5.00	5.05	25.25	39.00%	405.93	361.71	2030
13	15.10	5.00	5.05	25.25	42.00%	394.93	348.98	2450
14	15.10	5.10	5.10	26.01	41.00%	400.23	356.96	4860
15	15.20	5.00	5.10	25.50	41.00%	395.53	347.03	1830
16	15.20	5.00	5.00	25.00	42.00%	410.73	364.89	3200
17	15.20	5.00	5.10	25.50	42.00%	413.17	364.25	2880
18	15.00	5.10	5.00	25.50	42.00%	405.64	358.48	2780
19	15.10	5.10	5.05	25.76	39.00%	400.54	345.98	3720
20	15.10	5.00	5.10	25.50	38.00%	411.55	380.09	2700

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 28 TABLA 22 DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

ENSAYO COMPRESIÓN PERPENDICULAR HUMEDAD NATURAL								CARGA FINAL
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	P (kg)
1	15.00	5.00	5.00	25.00	44.00%	393.22	-	3270
2	15.00	5.10	5.00	25.50	41.00%	372.14	-	3250
3	15.10	5.00	5.05	25.25	42.00%	382.99	-	2120
4	14.98	5.00	5.10	25.50	40.00%	372.15	-	2710
5	15.00	5.00	5.05	25.25	41.00%	379.04	-	3140
6	15.02	5.05	5.03	25.40	40.00%	373.65	-	3020
7	15.01	5.00	5.02	25.10	42.00%	342.21	-	3010
8	15.10	5.10	5.05	25.76	41.00%	387.23	-	2670
9	15.00	5.10	5.10	26.01	41.00%	375.59	-	2650
10	15.02	5.05	5.03	25.40	39.00%	363.16	-	1860
11	15.00	5.00	5.02	25.10	40.00%	362.84	-	2670
12	15.00	5.10	5.03	25.65	38.00%	370.09	-	2040
13	15.00	5.03	5.03	25.30	39.00%	368.46	-	2150
14	15.00	5.10	5.00	25.50	41.00%	366.44	-	1920
15	15.00	5.00	5.00	25.00	41.00%	373.77	-	2350
16	15.00	5.00	5.02	25.10	41.00%	343.00	-	2370
17	15.00	5.05	5.00	25.25	40.00%	335.10	-	2370
18	14.90	5.05	5.00	25.25	41.00%	322.02	-	1820
19	15.00	5.05	5.00	25.25	42.00%	340.55	-	2150
20	15.00	5.01	5.00	25.05	41.00%	337.80	-	2100

Fuente: Elaboración Propia



### 3.5.1.7 MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLEXIÓN ESTÁTICA (NTP 251.017)

#### 3.5.1.7.1 OBJETIVO

- Obtener el esfuerzo de flexión estática en maderas sólidas.

#### 3.5.1.7.2 EQUIPOS

- Máquina de flexión
- Reloj comparador
- Wincha

#### 3.5.1.7.3 PROCEDIMIENTO

- El muestreo se realizó de acuerdo a la NTP 251.008 y NTP 251.009.
- Se prepararon 40 probetas de 2.5cm por 2.5cm de sección transversal y 41cm de longitud construidas de tal manera que las caras sean paralelas al grano.
- Se volvieron a tomar las medidas de cada una de las 40 probetas para corroborarlas.

FIGURA 52 PESADO DE PROBETAS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Se pesaron las 40 probetas con contenido de humedad natural.

- Se registró el porcentaje de humedad de las 40 probetas utilizando un medidor de humedad electrónico para madera.
- Enseguida se llevaron 20 probetas al horno para tenerlas en un contenido de humedad seco, el horno estuvo a una temperatura 103 °C.

**FIGURA 53 PROBETAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA SECADAS AL HORNO**



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Al alcanzar el porcentaje de humedad requerido se retiró las 20 probetas del horno y se procedió a su pesaje.
- La carga se aplicó en el centro de cada muestra para lo cual se puso una distancia entre los soportes de 17.5cm y así mismo se marcó esta distancia en cada una de las 40 probetas.
- Seguidamente se ensayaron las 20 probetas con contenido de humedad natural y las 20 probetas con contenido de humedad seco en el equipo de Ensayos Universal de Materiales, se acoplo una cizalla en la parte superior y una placa en la base con un espacio de 3mm del medio de la probeta.

- Se acoplo un reloj comparador al equipo de Ensayos Universal de Materiales el cual registro las deformaciones durante el ensayo de flexión estática, para poder fabricar la curva Carga-Deformación.

FIGURA 54 EQUIPO UNIVERSAL PARA ENSAYOS DE MATERIALES ACONDICIONADA PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesista

- Se registraron los datos de carga y deformación, así también se registró el tipo de falla de la probeta según lo requerido por la NTP 251.017.



## 3.5.1.7.4 TOMA DE DATOS

TABLA 29 DATOS FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

# PROBETA	ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA HUMEDAD SECO						CARGAS		DEFORMACIÓN		
	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	P' (kg)	P (kg)	DI (cm)
1	41.00	17.50	2.50	2.51	6.275	29.00%	216.22	199.48	285.521	509.858	0.27940
2	40.98	17.50	2.50	2.51	6.275	42.00%	225.06	198.98	244.732	489.464	0.27178
3	40.98	17.50	2.50	2.50	6.250	23.00%	198.55	172.65	305.915	458.872	0.32004
4	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	41.00%	199.97	178.36	305.915	520.055	0.30607
5	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	33.00%	200.97	179.77	326.309	520.055	0.42418
6	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	35.00%	202.48	179.89	260.028	418.084	0.55372
7	40.90	17.50	2.50	2.50	6.250	38.00%	218.50	189.65	326.309	489.464	0.53086
8	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	38.00%	245.15	217.87	367.098	520.055	0.42418
9	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	21.00%	189.22	165.54	305.915	499.661	0.40640
10	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	31.00%	210.50	196.22	254.929	458.872	0.31750
11	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	32.00%	199.98	175.45	356.901	520.055	0.47371
12	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	33.00%	183.23	162.45	244.732	407.886	0.32258
13	41.48	17.50	2.48	2.50	6.200	41.00%	237.02	210.54	275.323	458.872	0.38608
14	41.48	17.50	2.50	2.50	6.250	27.00%	207.57	184.10	254.929	499.661	0.35052
15	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	42.00%	227.75	211.58	305.915	479.267	0.41656
16	41.00	17.50	2.48	2.50	6.200	41.00%	211.57	185.26	254.929	412.985	0.49022
17	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	34.00%	171.86	149.78	275.323	438.478	0.42672
18	41.00	17.50	2.50	2.52	6.300	24.00%	215.92	189.66	326.309	520.055	0.38608
19	41.00	17.50	2.51	2.52	6.325	22.00%	238.32	211.35	387.492	581.238	0.40640
20	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	34.00%	227.75	211.18	244.732	458.872	0.43307

Fuente: Elaboración Propia



TABLA 30 DATOS FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

ENSAYO FLEXIÓN ESTÁTICA HUMEDAD NATURAL									CARGAS		DEFORMACIÓN
# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% humedad	Peso húmedo	Peso Seco	P´(kg)	P (kg)	DI (cm)
1	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	39.00%	223.21	-	346.704	560.844	0.30480
2	40.98	17.50	2.50	2.50	6.250	34.00%	228.88	-	295.718	469.069	0.33528
3	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	39.00%	202.28	-	295.718	469.069	0.33528
4	40.98	17.50	2.50	2.48	6.200	39.00%	205.65	-	254.929	479.267	0.29972
5	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	39.00%	224.31	-	234.535	509.858	0.23368
6	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	38.00%	208.23	-	254.929	489.464	0.30480
7	40.98	17.50	2.50	2.50	6.250	39.00%	239.91	-	407.886	550.647	0.39370
8	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	40.00%	249.64	-	428.281	611.830	0.39878
9	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	42.00%	242.04	-	316.112	530.252	0.39370
10	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	34.00%	222.37	-	387.492	463.971	0.55880
11	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	38.00%	225.46	-	387.492	550.647	0.46990
12	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	40.00%	442.16	-	356.901	550.647	0.35306
13	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	33.00%	220.38	-	346.704	550.647	0.28702
14	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	37.00%	222.70	-	326.309	509.858	0.39116
15	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	42.00%	425.49	-	407.886	560.844	0.39878
16	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	41.00%	221.82	-	295.718	509.858	0.32512
17	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	42.00%	229.18	-	305.915	469.069	0.33020
18	41.00	17.50	2.50	2.51	6.275	38.00%	219.96	-	305.915	611.830	0.35560
19	41.00	17.50	2.50	2.48	6.200	43.00%	222.88	-	244.732	458.872	0.25908
20	41.00	17.50	2.50	2.50	6.250	35.00%	230.55	-	305.915	448.675	0.38862

Fuente: Elaboración Propia



### 3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Para cada ensayo, se analizó como se obtuvo el dato de una de las probetas, en el caso de Compresión Axial o Paralela al Grano y Flexión Estática las curvas de esfuerzo-deformación y los datos de cargas y deformación, se encuentran en los anexos.

Así también, para cada ensayo, se analizó como se obtuvo los datos estadísticos de:

- El promedio aritmético o media aritmética, que es el valor de sumar los datos obtenidos de las probetas y dividir el resultado entre el número de probetas ensayadas, para así obtener un valor representativo.
- La varianza, que es el promedio aritmético del cuadrado de las desviaciones con respecto a la media y sirve para ver que tal lejanos o cercanos están nuestros datos del promedio aritmético.
- La desviación estándar, que es la raíz cuadrada de la varianza entre el número de datos, que sirve para saber, qué tan separados del promedio aritmético están los datos que teníamos.
- Coeficiente de variación, que es la división de la desviación estándar entre el promedio aritmético y sirve para medir la dispersión de los datos.
- Se aplicó el criterio de Chauvenet, que es el valor de la probeta requerida menos la media aritmética, todo esto dividido por la desviación estándar, en nuestro caso si el valor sobrepasa 2 se lo elimino y se volvía a calcular todo, este criterio sirvió para descartar datos que tengan un valor atípico, y así poder tener un valor representativo más exacto.
- Y para hallar nuestro percentil al 5% se utilizó la función probabilista de Student (t) que equivale a un límite de confianza del 95% y está dado por la desviación estándar dividida entre la raíz cuadrada del número de datos menos uno, todo esto multiplicado por el valor de la función menos la media aritmética de la muestra.



### 3.6.1 DENSIDAD

#### 3.6.1.1 DENSIDAD BÁSICA

##### 3.6.1.1.1 ANÁLISIS DE DENSIDAD BÁSICA PARA 40 PROBETAS

Para hallar densidad básica se utilizó la fórmula:

$$\text{Densidad Basica} = \frac{\text{Peso Anhidrido}}{\text{Volumen}}$$

En el caso de la probeta N° 1 se obtuvo como densidad básica el valor de:

$$\text{Densidad Basica} = \frac{62.40 \text{ g}}{(10.01 \times 2.98 \times 3.05) \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad Básica} = 0.692415 \text{ g/cm}^3$$

De la misma manera se obtuvo la densidad básica de las 40 probetas.

TABLA 31 ANÁLISIS DE DENSIDAD BÁSICA

DENSIDAD BÁSICA (db)							
PROBETA	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO ANHÍDRIDO (gr)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	PROBETA	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO ANHÍDRIDO (gr)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
1	90.1194	62.40	0.6924	21	89.9960	72.30	0.8034
2	90.9809	66.50	0.7309	22	96.0750	68.30	0.7109
3	89.8470	68.80	0.7657	23	88.5000	73.90	0.8350
4	91.3248	63.60	0.6964	24	91.5000	68.90	0.7530
5	89.9750	69.20	0.7691	25	90.4806	68.70	0.7593
6	90.0258	69.60	0.7731	26	91.2636	69.50	0.7615
7	93.7440	67.90	0.7243	27	90.6300	68.50	0.7558
8	92.4120	60.30	0.6525	28	91.2030	65.40	0.7171
9	91.5915	60.90	0.6649	29	90.6260	62.20	0.6863
10	97.2000	64.30	0.6615	30	91.0530	70.10	0.7699
11	95.1300	65.70	0.6906	31	89.0900	74.50	0.8362
12	91.3248	63.90	0.6997	32	91.0818	78.10	0.8575
13	91.5000	69.40	0.7585	33	90.9624	75.40	0.8289
14	92.5183	67.00	0.7242	34	91.4454	71.40	0.7808
15	92.2320	64.40	0.6982	35	91.2000	73.80	0.8092
16	92.2942	68.20	0.7389	36	90.9000	73.80	0.8119
17	91.0818	71.70	0.7872	37	91.6890	71.30	0.7776
18	91.0224	62.70	0.6888	38	93.6200	70.40	0.7520
19	90.7200	65.20	0.7187	39	91.6560	70.70	0.7714
20	90.7812	74.50	0.8207	40	92.5726	69.30	0.7486

Fuente: Elaboración Propia



Para encontrar los valores típicos de densidad básica se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 32 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DENSIDAD BÁSICA

ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA			
# PROBETA	DENSIDAD (G/CM3)	# PROBETA	DENSIDAD (G/CM3)
1	0.6924	21	0.8034
2	0.7309	22	0.7109
3	0.7657	23	0.8350
4	0.6964	24	0.7530
5	0.7691	25	0.7593
6	0.7731	26	0.7615
7	0.7243	27	0.7558
8	0.6525	28	0.7171
9	0.6649	29	0.6863
10	0.6615	30	0.7699
11	0.6906	31	0.8362
12	0.6997	32	0.8575
13	0.7585	33	0.8289
14	0.7242	34	0.7808
15	0.6982	35	0.8092
16	0.7389	36	0.8119
17	0.7872	37	0.7776
18	0.6888	38	0.7520
19	0.7187	39	0.7714
20	0.8207	40	0.7486

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$	29.9828
X prom ( $\mu$ )	0.7496

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las densidades

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 27 se calcula los promedios aritméticos para las 40 probetas de densidad básica.



TABLA 33 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DE DENSIDAD BÁSICA

DENSIDAD BÁSICA			CRITERIO DE CHAUVENET	
# PROBETA	$(\text{Xi}-\mu)R$	$(\text{Xi}-\mu)R^2$	ABS((X-u)/S)>2.0	
1	-0.0572	0.0033	1.11168122	OK
2	-0.0186	0.0003	0.36270623	OK
3	0.0162	0.0003	0.31460565	OK
4	-0.0532	0.0028	1.03386814	OK
5	0.0195	0.0004	0.3798855	OK
6	0.0235	0.0006	0.45786347	OK
7	-0.0253	0.0006	0.49126398	OK
8	-0.0971	0.0094	1.88777076	OK
9	-0.0847	0.0072	1.64666642	OK
10	-0.0880	0.0078	1.71252807	OK
11	-0.0589	0.0035	1.1463187	OK
12	-0.0499	0.0025	0.96997578	OK
13	0.0089	0.0001	0.17308328	OK
14	-0.0254	0.0006	0.49382649	OK
15	-0.0513	0.0026	0.99839566	OK
16	-0.0106	0.0001	0.20674838	OK
17	0.0376	0.0014	0.73196566	OK
18	-0.0607	0.0037	1.18118143	OK
19	-0.0309	0.0010	0.60053595	OK
20	0.0711	0.0051	1.38256392	OK
21	0.0538	0.0029	1.04636423	OK
22	-0.0387	0.0015	0.75208816	OK
23	0.0855	0.0073	1.66213134	OK
24	0.0034	0.0000	0.06679991	OK
25	0.0097	0.0001	0.18881509	OK
26	0.0120	0.0001	0.23260745	OK
27	0.0062	0.0000	0.12154939	OK
28	-0.0325	0.0011	0.63191266	OK
29	-0.0632	0.0040	1.22988313	OK
30	0.0203	0.0004	0.39503207	OK
31	0.0867	0.0075	1.68556402	OK
32	0.1079	0.0116	2.09863919	ELIMINAR
33	0.0793	0.0063	1.54320861	OK
34	0.0312	0.0010	0.60727877	OK
35	0.0596	0.0036	1.15998033	OK
36	0.0623	0.0039	1.21192432	OK
37	0.0281	0.0008	0.54571679	OK
38	0.0024	0.0000	0.0467784	OK
39	0.0218	0.0005	0.42384135	OK
40	-0.0010	0.0000	0.01884759	OK

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma=$	0.1057	CVr=	0.06859
Sr=	0.0514		



En la tabla N° 28 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 40 de probetas de densidad básica y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $S = \sqrt{\frac{0.1057}{40}}$

$$S = 0.0514$$

- $CV = \frac{S}{\mu}$

$$CV = \frac{0.0514}{0.7496}$$

$$CV = 0.06859$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 32

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(0.8575 - 0.7496)}{0.0514} = 2.0986 \geq 2.0 \text{ No cumple}$$

Como la probeta N°32 no cumple con el criterio de Chauvenet se prosigue a descartarla y se vuelven a realizar los cálculos.



TABLA 34 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS PARA DENSIDAD BÁSICA CORREGIDOS

ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA	
# PROBETA	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.6924
2	0.7309
3	0.7657
4	0.6964
5	0.7691
6	0.7731
7	0.7243
8	0.6525
9	0.6649
10	0.6615
11	0.6906
12	0.6997
13	0.7585
14	0.7242
15	0.6982
16	0.7389
17	0.7872
18	0.6888
19	0.7187
20	0.8207
21	0.8034
22	0.7109
23	0.8350
24	0.7530
25	0.7593
26	0.7615
27	0.7558
28	0.7171
29	0.6863
30	0.7699
31	0.8362
33	0.8289
34	0.7808
35	0.8092
36	0.8119
37	0.7776
38	0.7520
39	0.7714
40	0.7486

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$	29.1254
Xprom ( $\mu$ )	0.7468



TABLA 35 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BÁSICA CORREGIDOS

ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA		
# PROBETA	$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$
1	-0.054	0.00296
2	-0.016	0.00025
3	0.019	0.00036
4	-0.050	0.00254
5	0.022	0.00050
6	0.026	0.00069
7	-0.022	0.00051
8	-0.094	0.00889
9	-0.082	0.00671
10	-0.085	0.00727
11	-0.056	0.00316
12	-0.047	0.00222
13	0.012	0.00014
14	-0.023	0.00051
15	-0.049	0.00236
16	-0.008	0.00006
17	0.040	0.00163
18	-0.058	0.00336
19	-0.028	0.00079
20	0.074	0.00545
21	0.057	0.00320
22	-0.036	0.00129
23	0.088	0.00778
24	0.006	0.00004
25	0.012	0.00016
26	0.015	0.00022
27	0.009	0.00008
28	-0.030	0.00088
29	-0.060	0.00366
30	0.023	0.00053
31	0.089	0.00800
33	0.082	0.00674
34	0.034	0.00116
35	0.062	0.00389
36	0.065	0.00423
37	0.031	0.00095
38	0.005	0.00003
39	0.025	0.00060
40	0.002	0.000003

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma =$	0.0938	CVr =	0.06567
Sr =	0.0490		



Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, esta función se encuentra tabulada en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$\mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N = 39$$

Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t 0.95$  entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t 0.95)=1.69$ .

Ahora calculamos el límite inferior para densidad básica:

$$\text{PER 5\% db} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=39$$

$$S= 0.0490$$

$$\mu= 0.7468$$

$$\text{PER 5\% db} = 0.7468 - 1.69 \left( \frac{0.0490}{\sqrt{39-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% db} = 0.7334 \text{ g/cm}^3$$

**ANÁLISIS:** Se puede observar que la densidad básica para nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 0.7334 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.6.2 CIZALLAMIENTO

#### 3.6.2.1 CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

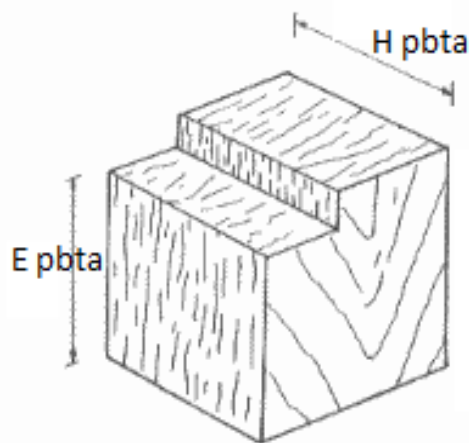
##### 3.6.2.1.1 ANÁLISIS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Para hallar el cizallamiento paralelo al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = \frac{P_{\max}}{(H_{pbta} \times E_{pbta})} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

FIGURA 55 DATOS DE LA PROBETA UTILIZADAS PARA LA FORMULA DE ESFUERZO AL CORTE EN CIZALLAMIENTO



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

En el caso de la probeta N° 2 se obtuvo como esfuerzo de corte:

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = \frac{1325.6310}{(5.00 \times 4.90)} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = 54.1074 \text{ kg/cm}^2$$

De la misma manera se obtuvo la Resistencia al Cizallamiento de las 20 probetas con contenido de humedad natural.



Tabla 36 ANÁLISIS DE DATOS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO CORTE PARALELO HÚMEDAS			CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA CIZALLAMIENTO (fv)
# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kg)	Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5.00	4.90	1631.545941	66.5937
2	4.90	5.00	1325.631077	54.1074
3	5.10	5.00	1682.531751	65.9816
4	5.10	5.00	1835.489183	71.9800
5	5.10	4.80	1682.531751	68.7309
6	5.00	5.00	1121.687834	44.8675
7	5.10	5.00	1529.574319	59.9833
8	5.10	5.00	1223.659456	47.9866
9	5.10	5.00	1223.659456	47.9866
10	5.00	5.10	1376.616888	53.9850
11	5.10	4.80	1223.659456	49.9861
12	5.10	5.00	1631.545941	63.9822
13	5.00	5.10	1376.616888	53.9850
14	5.00	5.00	1427.602698	57.1041
15	5.10	4.90	1733.517562	69.3684
16	5.20	5.00	1325.631077	50.9858
17	5.10	5.10	1376.616888	52.9264
18	5.00	4.90	1325.631077	54.1074
19	5.10	4.90	1427.602698	57.1270
20	5.20	5.00	1529.574319	58.8298

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 31 se calculó los esfuerzos de rotura para cizallamiento paralelo al grano



Para encontrar los valores típicos de cizallamiento paralelo al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

Tabla 37 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	66.59371187
2	54.10739089
3	65.98163731
4	71.97996797
5	68.7308722
6	44.86751337
7	59.98330665
8	47.98664532
9	47.98664532
10	53.98497598
11	49.98608887
12	63.98219376
13	53.98497598
14	57.10410793
15	69.36844986
16	50.98581065
17	52.92644704
18	54.10739089
19	57.12695871
20	58.82978152

$\Sigma$	1150.604872
Xprom ( $\mu$ )	57.5302436

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 32 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad natural para los esfuerzos de cizallamiento paralelo al grano.



TABLA 38 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO		CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
9.06	82.15	1.17516453	OK
-3.42	11.72	0.44380528	OK
8.45	71.43	1.09580326	OK
14.45	208.79	1.87354366	OK
11.20	125.45	1.45226761	OK
-12.66	160.34	1.64184294	OK
2.45	6.02	0.31806286	OK
-9.54	91.08	1.23741793	OK
-9.54	91.08	1.23741793	OK
-3.55	12.57	0.45967753	OK
-7.54	56.91	0.97817113	OK
6.45	41.63	0.83655646	OK
-3.55	12.57	0.45967753	OK
-0.43	0.18	0.05525253	OK
11.84	140.14	1.53493559	OK
-6.54	42.83	0.84854773	OK
-4.60	21.19	0.59692584	OK
-3.42	11.72	0.44380528	OK
-0.40	0.16	0.05228971	OK
1.30	1.69	0.1684974	OK

Σ=	1189.656	CVr=	0.134060098
Sr=	7.7125		

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 33 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de cizallamiento paralelo al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.



$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

$$\bullet S = \sqrt{\frac{1189.656}{20}}$$

$$S = 7.7125$$

$$\bullet CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{7.7125}{57.5302}$$

$$CV = 0.134060098$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 2

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(54.107 - 57.530)}{7.7125} = 0.443805 \leq 2.0 \text{ Cumple}$$

Así como la probeta N°2 cumple con el criterio de Chauvenet, todas las demás probetas también lo cumplieron, por lo tanto no se eliminó ninguna.

Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, esta función se encuentra tabulada en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$\mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right); N = 20$$

Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t$  0.95 entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t\ 0.95)=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior para cizallamiento paralelo al grano para probetas húmedas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 7.7125$$

$$\mu= 57.53024$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 57.53024 - 1.73 \left( \frac{7.7125}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 54.4692 \text{ kg/cm}^2$$

La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de cizallamiento se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) único de 4.00.

$$\text{Esfuerzo Admisible Cizallamiento} = \frac{54.4692}{4.00}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Cizallamiento} = 13.6173 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad natural, se puede observar que el esfuerzo admisible para cizallamiento en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 13.6173 kg/cm<sup>2</sup>.

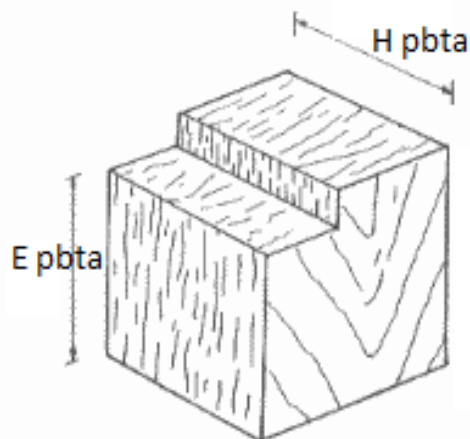
### 3.6.2.1.2 ANÁLISIS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

Para hallar el cizallamiento paralelo al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = \frac{P_{\max}}{(H_{pbta} \times E_{pbta})} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

FIGURA 56 DATOS DE LA PROBETA UTILIZADAS PARA LA FORMULA DE ESFUERZO AL CORTE EN CIZALLAMIENTO



Fuentes: Manual de la Corma de construcción en madera

En el caso de la probeta N° 2 se obtuvo como esfuerzo de corte:

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = \frac{1733.5176}{(5.10 \times 5.10)} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{RESISTENCIA CIZALLAMIENTO} = 66.6481 \text{ kg/cm}^2$$

De la misma manera se obtuvo la Resistencia al Cizallamiento de las 20 probetas con contenido de humedad seco.



TABLA 39 ANÁLISIS DE DATOS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO)

ENSAYO CORTE PARALELO SECOS			CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA CIZALLAMIENTO (fv)
# PROBETA	H pbta (cm)	E pbta (cm)	P (kg)	Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5.10	4.80	1733.517562	70.8136
2	5.10	5.10	1733.517562	66.6481
3	5.20	5.10	1835.489183	69.2115
4	5.00	5.00	1886.474994	75.4590
5	5.00	5.00	1784.503373	71.3801
6	5.10	5.00	1733.517562	67.9811
7	5.10	5.00	1672.334589	65.5817
8	5.10	5.10	1733.517562	66.6481
9	5.00	4.90	1835.489183	74.9179
10	5.00	5.10	1835.489183	71.9800
11	5.10	5.00	1784.503373	69.9805
12	5.10	4.80	1733.517562	70.8136
13	5.00	5.10	1835.489183	71.9800
14	5.10	5.00	1886.474994	73.9794
15	5.00	4.90	1937.460805	79.0800
16	5.00	5.00	1825.292021	73.0117
17	4.90	4.90	1835.489183	76.4469
18	5.00	5.00	1835.489183	73.4196
19	5.10	5.10	1937.460805	74.4891
20	5.10	4.90	1957.855129	78.3455

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 34 se calculó los esfuerzos de rotura para cizallamiento paralelo al grano.

Para encontrar los valores típicos de cizallamiento paralelo al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 40 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO)

ENSAYO CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	70.8136259
2	66.6481185
3	69.21150767
4	75.45899976
5	71.38013491
6	67.98108087
7	65.5817486
8	66.6481185
9	74.91792585
10	71.97996797
11	69.98052442
12	70.8136259
13	71.97996797
14	73.97941153
15	79.08003284
16	73.01168085
17	76.44686311
18	73.41956733
19	74.48907361
20	78.34554337

$\Sigma$	1442.167519
X <sub>prom</sub> ( $\mu$ )	72.10837597

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X_{\text{prom}} (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 35 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de cizallamiento paralelo al grano.



TABLA 41 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (SECO)

ENSAYO CIZALLAMIENTO PARALELA		CRITERIO DE CHAUVENET	
$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	ABS((X-u)/S)>2.0	
-1.29	1.68	0.35028536	OK
-5.46	29.81	1.47723357	OK
-2.90	8.39	0.78372698	OK
3.35	11.23	0.90648728	OK
-0.73	0.53	0.19702041	OK
-4.13	17.03	1.11661014	OK
-6.53	42.60	1.76573231	OK
-5.46	29.81	1.47723357	OK
2.81	7.89	0.7601036	OK
-0.13	0.02	0.03473986	OK
-2.13	4.53	0.575675	OK
-1.29	1.68	0.35028536	OK
-0.13	0.02	0.03473986	OK
1.87	3.50	0.50619527	OK
6.97	48.60	1.88613185	OK
0.90	0.82	0.24438267	OK
4.34	18.82	1.17374663	OK
1.31	1.72	0.35473343	OK
2.38	5.67	0.6440807	OK
6.24	38.90	1.68742098	OK

$\Sigma =$	273.2486	Cvr =	0.051259957
Sr =	3.6963		

En la tabla N° 36 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de cizallamiento paralelo al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.



$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $$S = \sqrt{\frac{273.2486}{20}}$$

$$S = 3.6963$$

- $$CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{3.6963}{72.1084}$$

$$CV = 0.051259957$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 2

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(66.648 - 72.108)}{3.6963} = 1.4772 \leq 2.0 \text{ Cumple}$$

Así como la probeta N°2 cumple con el criterio de Chauvenet, todas las demás probetas también lo cumplieron, por lo tanto no se eliminó ninguna.

Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, esta función se encuentra tabulada en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$\mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right); N = 20$$

Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t 0.95$  entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t 0.95)=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior para cizallamiento paralelo al grano para probetas secas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 3.6963$$

$$\mu= 72.10838$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 72.10838 - 1.73 \left( \frac{3.6963}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 70.6414 \text{ kg/cm}^2$$

La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de cizallamiento se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) único de 4.00.

$$\text{Esfuerzo Admisible Cizallamiento} = \frac{70.6414}{4.00}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Cizallamiento} = 17.6603 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad seco, se puede observar que el esfuerzo admisible para cizallamiento en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 17.6603 kg/cm<sup>2</sup>.



### 3.6.3 COMPRESIÓN

#### 3.6.3.1 COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO

##### 3.6.3.1.1 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Para hallar el esfuerzo de rotura de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{8780 \text{ kg}}{(5.10 \times 5.00) \text{ cm}^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 344.3137 \text{ kg/cm}^2$$

Para hallar el esfuerzo al límite proporcional de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{P_{lp}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{3440}{(5.10 \times 5.00)} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = 134.9020 \text{ kg/cm}^2$$

Y para hallar el módulo de elasticidad de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{P_{lp} \times \text{Longitud}}{\text{Area} \times \text{DI}} \text{ Kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{3440 \times 20.10}{(5.10 \times 5.00) \times 0.13208} = 20529.4474 \text{ Kg/cm}^2$$



TABLA 42 ANÁLISIS DE DATOS DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA HUMEDAD NATURAL				CARGAS		DEFORMACIÓN	ESFUERZOS COMPRESIÓN PARALELA (fc//)		
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P' (kg)	P (kg)	DI (cm)	Esfuerzo de rotura ( $\sigma_R$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo limite proporcional ( $\sigma_{LP}$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (MOE)(kg/cm <sup>2</sup> )
1	20.05	5.00	5.00	6570	9370	0.19304	374.8000	262.8000	27295.5864
2	20.00	5.00	5.00	5120	8440	0.127	337.6000	204.8000	32251.9685
3	20.08	5.00	5.00	4330	7010	0.1143	280.4000	173.2000	30427.4366
4	20.10	5.00	5.00	2590	4080	0.0508	163.2000	103.6000	40991.3386
5	20.10	5.00	5.00	4230	6470	0.1524	258.8000	169.2000	22315.7480
6	20.05	5.00	5.00	3690	6690	0.01397	267.6000	147.6000	211838.2248
7	20.00	5.00	5.00	3590	8140	0.106	325.6000	143.6000	27094.3396
8	20.10	5.00	5.00	4520	6620	0.1193	264.8000	180.8000	30461.6932
9	20.10	5.10	5.00	3440	8780	0.13208	344.3137	134.9020	20529.4474
10	20.10	5.00	5.00	3360	6650	0.07112	266.0000	134.4000	37984.2520
11	20.08	4.98	5.10	4250	6550	0.1274	257.8943	167.3360	26374.4670
12	20.05	5.10	4.80	3930	6460	0.08128	263.8889	160.5392	39601.5167
13	20.10	5.05	5.05	3340	6390	0.05842	250.5637	130.9676	45060.7292
14	20.05	5.02	5.00	3230	5410	0.05334	215.5378	128.6853	48371.5681
15	20.00	5.00	5.00	3420	6520	0.07366	260.8000	136.8000	37143.6329
16	20.10	5.00	4.90	4030	6720	0.09144	274.2857	164.4898	36157.5339
17	20.00	5.00	5.00	4430	7510	0.127	300.4000	177.2000	27905.5118
18	20.10	4.98	5.00	4390	5380	0.09652	216.0643	176.3052	36715.0325
19	20.05	5.00	5.00	4830	6620	0.1143	264.8000	193.2000	33890.2887
20	20.10	4.95	5.00	6460	4370	0.10666	176.5657	261.0101	49187.1651

Fuente: Elaboración Propia

Para encontrar los valores típicos de compresión paralelo al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 43 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	374.8000	262.8000	27295.5864
2	337.6000	204.8000	32251.9685
3	280.4000	173.2000	30427.4366
4	163.2000	103.6000	40991.3386
5	258.8000	169.2000	22315.7480
6	267.6000	147.6000	211838.2248
7	325.6000	143.6000	27094.3396
8	264.8000	180.8000	30461.6932
9	344.3137	134.9020	20529.4474
10	266.0000	134.4000	37984.2520
11	257.8943	167.3360	26374.4670
12	263.8889	160.5392	39601.5167
13	250.5637	130.9676	45060.7292
14	215.5378	128.6853	48371.5681
15	260.8000	136.8000	37143.6329
16	274.2857	164.4898	36157.5339
17	300.4000	177.2000	27905.5118
18	216.0643	176.3052	36715.0325
19	264.8000	193.2000	33890.2887
20	176.5657	261.0101	49187.1651

Σ	5363.914083	3351.435116	861597.481
Xprom (μ)	268.1957042	167.5717558	43079.87405

Fuente: Elaboración Propia

Σ= Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 38 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de compresión paralela al grano.



TABLA 44 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE PERPENDICULAR PARALELO AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA						CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
106.6043	11364.4759	95.2282	9068.4185	-15784.2876	249143736.3210	2.09045596	ELIMINAR
69.4043	4816.9563	37.2282	1385.9422	-10827.9055	117243538.4616	1.3609829	OK
12.2043	148.9448	5.6282	31.6771	-12652.4375	160084174.1126	0.23932003	OK
-104.9957	11024.0979	-63.9718	4092.3855	-2088.5355	4361980.3881	2.0589123	ELIMINAR
-9.3957	88.2793	1.6282	2.6512	-20764.1260	431148929.2108	0.18424497	OK
-0.5957	0.3549	-19.9718	398.8710	168758.3507	28479380937.6676	0.01168146	OK
57.4043	3295.2532	-23.9718	574.6451	-15985.5344	255537310.8502	1.12566901	OK
-3.3957	11.5308	13.2282	174.9864	-12618.1808	159218487.6393	0.06658803	OK
76.1180	5793.9532	-32.6698	1067.3155	-22550.4267	508521742.2693	1.49263564	OK
-2.1957	4.8211	-33.1718	1100.3654	-5095.6221	25965364.3725	0.04305664	OK
-10.3014	106.1185	-0.2357	0.0556	-16705.4071	279070624.8221	0.20200485	OK
-4.3068	18.5487	-7.0325	49.4566	-3478.3574	12098970.0826	0.08445445	OK
-17.6320	310.8886	-36.6042	1339.8677	1980.8551	3923787.0923	0.34575521	OK
-52.6579	2772.8498	-38.8865	1512.1596	5291.6940	28002025.9004	1.03259374	OK
-7.3957	54.6964	-30.7718	946.9010	-5936.2411	35238958.8675	0.14502599	OK
6.0900	37.0882	-3.0820	9.4985	-6922.3402	47918793.3996	0.119422	OK
32.2043	1037.1167	9.6282	92.7031	-15174.3622	230261269.2855	0.63150984	OK
-52.1314	2717.6878	8.7335	76.2734	-6364.8415	40511207.5484	1.02227114	OK
-3.3957	11.5308	25.6282	656.8069	-9189.5853	84448478.6044	0.06658803	OK
-91.6300	8396.0656	93.4383	8730.7244	6107.2911	37299004.0837	1.79681858	OK

Σ=	52011.26	Σ=	31311.70	Σ=	31189379320.98
Sr=	51.00	Slp=	39.57	Smoe=	39490.11
CVr=	0.190143667	CVlp=	0.23612259	Cvmoe=	0.916671953

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla N° 39 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de compresión paralela al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

$$\bullet S = \sqrt{\frac{52011.26}{20}}$$

$$S = 50.9957$$

$$\bullet CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{50.9957}{268.1957}$$

$$CV = 0.19014$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 1

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{S} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(374.8000 - 268.1957)}{50.9957} = 2.0905 \geq 2.0 \text{ No Cumple}$$

Así como la probeta N° 1 la probeta N° 4, no cumple con el criterio de Chauvenet por lo tanto se prosigue a descártalas y se vuelven a realizar los cálculos.

TABLA 45 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO  
(HÚMEDO) CORREGIDOS

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
2	337.6000000	204.8000000	32251.9685
3	280.4000000	173.2000000	30427.43657
5	258.8000000	169.2000000	22315.74803
6	267.6000000	147.6000000	211838.2248
7	325.6000000	143.6000000	27094.33962
8	264.8000000	180.8000000	30461.69321
9	344.3137255	134.9019608	20529.44739
10	266.0000000	134.4000000	37984.25197
11	257.8943224	167.3360107	26374.46699
12	263.8888889	160.5392157	39601.51666
13	250.5636702	130.9675522	45060.72919
14	215.5378486	128.685259	48371.5681
15	260.8000000	136.8000000	37143.63291
16	274.2857143	164.4897959	36157.53388
17	300.4000000	177.2000000	27905.51181
18	216.064257	176.3052209	36715.03253
19	264.8000000	193.2000000	33890.28871
20	176.5656566	261.010101	49187.16511

$\Sigma$	4825.914083	2985.035116	793310.556
$X_{prom} (\mu)$	268.106338	165.8352842	44072.80866

Fuente: Elaboración Propia





TABLA 46 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HÚMEDOS) CORREGIDOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA					
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>
69.49	4829.37	38.96	1518.25	-11820.84	139732262.10
12.29	151.13	7.36	54.24	-13645.37	186196179.59
-9.31	86.61	3.36	11.32	-21757.06	473369687.39
-0.51	0.26	-18.24	332.53	167765.42	28145234840.16
57.49	3305.52	-22.24	494.41	-16978.47	288268411.01
-3.31	10.93	14.96	223.94	-13611.12	185262463.91
76.21	5807.57	-30.93	956.87	-23543.36	554289859.93
-2.11	4.44	-31.44	988.18	-6088.56	37070522.64
-10.21	104.29	1.50	2.25	-17698.34	313231297.88
-4.22	17.79	-5.30	28.05	-4471.29	19992452.15
-17.54	307.75	-34.87	1215.76	987.92	975986.96
-52.57	2763.45	-37.15	1380.12	4298.76	18479332.65
-7.31	53.38	-29.04	843.05	-6929.18	48013476.67
6.18	38.18	-1.35	1.81	-7915.27	62651574.92
32.29	1042.88	11.36	129.16	-16167.30	261381487.55
-52.04	2708.38	10.47	109.62	-7357.78	54136869.65
-3.31	10.93	27.36	748.83	-10182.52	103683712.54
-91.54	8379.70	95.17	9058.25	5114.36	26156641.82

Σ=	29622.54	Σ=	18096.62	Σ=	30918127059.51
Sr=	40.57	Slp=	31.71	Smoe=	41444.83
CVr=	0.151310066	CVlp=	0.191198992	Cvmoe=	0.940371824

Fuente: Elaboración Propia



Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t_{0.95}$  entramos a la tabulación de la función  $(t)$  en el anexo y encontramos que  $(t_{0.95})=1.74$ .

Calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad, para compresión paralela para probetas húmedas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=18$$

$$S= 40.5672$$

$$\mu= 268.1063$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 268.1063 - 1.74 \left( \frac{40.5672}{\sqrt{18-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 250.9865 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=18$$

$$S= 31.7075$$

$$\mu= 165.8353$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 165.8353 - 1.74 \left( \frac{31.7075}{\sqrt{18-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 152.4544 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=18$$

$$S= 41444.8275$$

$$\mu= 44072.8087$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 44072.8087 - 1.74 \left( \frac{41444.8275}{\sqrt{18-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 26582.5947 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de compresión axial o paralela al grano se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) de 1.60 y un coeficiente de duración de carga (F.D.C.) de 1.25.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = \frac{250.9865}{1.60 \times 1.25}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = 125.4932 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad natural, se puede observar que el esfuerzo admisible para compresión axial o paralela al grano en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 125.4932 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.3.1.2 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN AXIAL PARALELA AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

Para hallar el esfuerzo de rotura de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{6960 \text{ kg}}{(5.00 \times 5.10) \text{ cm}^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 272.9412 \text{ kg/cm}^2$$

Para hallar el esfuerzo al límite proporcional de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{P_{lp}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{5200}{(5.10 \times 5.00)} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = 203.9216 \text{ kg/cm}^2$$

Y para hallar el módulo de elasticidad de compresión axial o paralela al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{P_{lp} \times \text{Longitud}}{\text{Area} \times \text{DI}} \text{ Kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°9:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{203.9216 \times 20.10}{(5.10 \times 5.00) \times 0.1270}$$

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = 32274.2010 \text{ Kg/cm}^2$$



TABLA 47 ANÁLISIS DE DATOS DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (SECO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA HUMEDAD SECO				CARGAS		DEFORMACIÓN	ESFUERZOS COMPRESIÓN PARALELA (fc//)		
# PROBETA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	P´(kg)	P (kg)	DI (cm)	Esfuerzo de rotura (σR)(kg/cm2)	Esfuerzo limite propor (σLP)(kg/cm2)	Módulo de elasticidad (MOE)(kg/cm2)
1	20.00	5.00	5.05	2490	3510	0.06350	139.00990	98.61386	31059.48390
2	20.10	5.00	5.10	4560	5750	0.12700	225.49020	178.82353	28301.99166
3	20.10	5.00	5.10	6180	7380	0.12192	289.41176	242.35294	39954.84020
4	20.10	5.10	5.00	5490	6540	0.15240	256.47059	215.29412	28395.09032
5	20.00	5.10	5.00	5060	6920	0.12954	271.37255	198.43137	30636.30887
6	20.10	5.02	5.00	5200	6650	0.10922	264.94024	207.17131	38126.19874
7	20.00	4.90	5.00	6540	8480	0.12700	346.12245	266.93878	42037.60244
8	20.10	5.00	5.10	5060	7730	0.11684	303.13725	198.43137	34136.17415
9	20.10	5.00	5.10	5200	6960	0.12700	272.94118	203.92157	32274.20102
10	20.10	5.00	5.02	5660	7010	0.15748	279.28287	225.49801	28781.49581
11	20.10	4.90	4.90	5420	6510	0.11430	271.13703	225.73928	39696.93293
12	20.10	5.00	4.90	5550	7610	0.09652	310.61224	226.53061	47174.31938
13	20.20	4.90	4.90	5250	7620	0.15748	317.36776	218.65889	28047.43219
14	20.10	4.90	4.90	6360	8260	0.15748	344.02332	264.88963	33809.25546
15	20.10	4.90	4.90	6370	8460	0.14478	352.35319	265.30612	36832.80191
16	20.10	5.00	4.90	6670	9460	0.15748	386.12245	272.24490	34748.04705
17	20.10	5.00	4.90	5260	7690	0.12954	313.87755	214.69388	33312.85270
18	20.20	5.00	4.90	5360	7950	0.13462	324.48980	218.77551	32827.70247
19	20.10	5.00	5.10	6620	8390	0.12446	329.01961	259.60784	41926.06176
20	20.20	4.90	4.90	5680	8480	0.12920	353.18617	236.56810	36986.65288

Fuente: Elaboración Propia

Para encontrar los valores típicos de compresión paralelo al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

Tabla 48 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO (SECO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	139.0099010	98.61386139	31059.48390
2	225.4901961	178.8235294	28301.99166
3	289.4117647	242.3529412	39954.84020
4	256.4705882	215.2941176	28395.09032
5	271.3725490	198.4313725	30636.30887
6	264.9402390	207.1713147	38126.19874
7	346.1224490	266.9387755	42037.60244
8	303.1372549	198.4313725	34136.17415
9	272.9411765	203.9215686	32274.20102
10	279.2828685	225.4980080	28781.49581
11	271.1370262	225.7392753	39696.93293
12	310.6122449	226.5306122	47174.31938
13	317.3677634	218.6588921	28047.43219
14	344.0233236	264.8896293	33809.25546
15	352.3531862	265.3061224	36832.80191
16	386.1224490	272.2448980	34748.04705
17	313.8775510	214.6938776	33312.85270
18	324.4897959	218.7755102	32827.70247
19	329.0196078	259.6078431	41926.06176
20	353.1861724	236.5680966	36986.65288

$\Sigma$	5950.368107	4438.491618	699065.4458
Xprom ( $\mu$ )	297.5184054	221.9245809	34953.27229

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 43 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de compresión paralela al grano.



TABLA 49 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (SECO)

ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA						CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
-158.51	25124.95	-123.3107195	15205.53	-3893.788391	15161588.03	2.98205897	ELIMINAR
-72.03	5188.06	-43.10105151	1857.70	-6651.280629	44239534.01	1.35508418	OK
-8.11	65.72	20.42836025	417.32	5001.567912	25015681.58	0.1525122	OK
-41.05	1684.92	-6.630463277	43.96	-6558.181972	43009750.78	0.77224255	OK
-26.15	683.61	-23.49320838	551.93	-4316.963422	18636173.19	0.49188834	OK
-32.58	1061.34	-14.75326618	217.66	3172.926447	10067462.24	0.61290095	OK
48.60	2362.35	45.01419459	2026.28	7084.330151	50187733.68	0.91439967	OK
5.62	31.57	-23.49320838	551.93	-817.0981373	667649.37	0.10570878	OK
-24.58	604.04	-18.0030123	324.11	-2679.071273	7177422.89	0.46237737	OK
-18.24	332.53	3.573427044	12.77	-6171.776482	38090824.94	0.34306958	OK
-26.38	695.98	3.814694377	14.55	4743.660635	22502316.22	0.49631929	OK
13.09	171.45	4.60603132	21.22	12221.04708	149353991.82	0.24633758	OK
19.85	394.00	-3.265688796	10.66	-6905.840104	47690627.54	0.37343079	OK
46.50	2162.71	42.9650484	1846.00	-1144.016835	1308774.52	0.87490831	OK
54.83	3006.85	43.38154152	1881.96	1879.529623	3532631.60	1.03162004	OK
88.60	7850.68	50.32031703	2532.13	-205.2252449	42117.40	1.66692938	OK
16.36	267.62	-7.230703373	52.28	-1640.419592	2690976.44	0.30776858	OK
26.97	727.46	-3.14907072	9.92	-2125.569825	4518047.08	0.50741932	OK
31.50	992.33	37.68326221	1420.03	6972.789471	48619793.01	0.59263977	OK
55.67	3098.90	14.6435157	214.43	2033.380586	4134636.61	1.04729121	OK

Σ=	56507.06	Σ=	29212.37	Σ=	536647732.94
Sr=	53.15	Slp=	38.22	Smoe=	5180.00
CVr=	0.178658015	CVlp=	0.172211838	Cvmoe=	0.148197819

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla N° 44 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de compresión paralela al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

$$\bullet S = \sqrt{\frac{56507.0556}{20}}$$

$$S = 53.1541$$

$$\bullet CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{53.1541}{297.5184}$$

$$CV = 0.1787$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 1

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{S} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(139.0099 - 297.5184)}{53.1541} = 2.9821 \geq 2.0 \text{ No Cumple}$$

Como la probeta N° 1 no cumple con el criterio de Chauvenet por lo tanto se prosigue a descártala y se vuelven a realizar los cálculos.



TABLA 50 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO  
(SECO) CORREGIDOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
2	225.4901961	178.8235294	28301.99166
3	289.4117647	242.3529412	39954.84020
4	256.4705882	215.2941176	28395.09032
5	271.3725490	198.4313725	30636.30887
6	264.9402390	207.1713147	38126.19874
7	346.1224490	266.9387755	42037.60244
8	303.1372549	198.4313725	34136.17415
9	272.9411765	203.9215686	32274.20102
10	279.2828685	225.4980080	28781.49581
11	271.1370262	225.7392753	39696.93293
12	310.6122449	226.5306122	47174.31938
13	317.3677634	218.6588921	28047.43219
14	344.0233236	264.8896293	33809.25546
15	352.3531862	265.3061224	36832.80191
16	386.1224490	272.2448980	34748.04705
17	313.8775510	214.6938776	33312.85270
18	324.4897959	218.7755102	32827.70247
19	329.0196078	259.6078431	41926.06176
20	353.1861724	236.5680966	36986.65288

$\Sigma$	5811.358207	4339.877757	668005.9619
Xprom ( $\mu$ )	305.8609582	228.4146188	35158.20852

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (SECO)  
CORREGIDOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA					
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>
-80.3708	6459.4594	-49.5911	2459.2761	-6856.2169	47007709.6359
-16.4492	270.5760	13.9383	194.2768	4796.6317	23007675.4799
-49.3904	2439.4086	-13.1205	172.1476	-6763.1182	45739767.8351
-34.4884	1189.4504	-29.9832	898.9951	-4521.8997	20447576.4758
-40.9207	1674.5053	-21.2433	451.2780	2967.9902	8808965.9226
40.2615	1620.9876	38.5242	1484.1107	6879.3939	47326060.6985
-2.7237	7.4186	-29.9832	898.9951	-1022.0344	1044554.2503
-32.9198	1083.7120	-24.4931	599.9095	-2884.0075	8317499.2840
-26.5781	706.3949	-2.9166	8.5066	-6376.7127	40662465.0258
-34.7239	1205.7515	-2.6753	7.1575	4538.7244	20600019.2153
4.7513	22.5747	-1.8840	3.5495	12016.1109	144386920.0161
11.5068	132.4066	-9.7557	95.1742	-7110.7763	50563140.0861
38.1624	1456.3661	36.4750	1330.4264	-1348.9531	1819674.3749
46.4922	2161.5273	36.8915	1360.9830	1674.5934	2804263.0274
80.2615	6441.9069	43.8303	1921.0934	-410.1615	168232.4364
8.0166	64.2658	-13.7207	188.2587	-1845.3558	3405338.1135
18.6288	347.0336	-9.6391	92.9124	-2330.5061	5431258.4772
23.1586	536.3231	31.1932	973.0172	6767.8532	45803837.4802
47.3252	2239.6759	8.1535	66.4792	1828.4444	3343208.7593

Σ=	30059.74	Σ=	13206.55	Σ=	520688166.59
Sr=	39.78	Slp=	26.36	Smoe=	5234.94
CVr=	0.130044442	CVlp=	0.115423421	Cvmoe=	0.148896783

Fuente: Elaboración Propia



Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t$  0.95 entramos a la tabulación de la función ( $t$ ) en el anexo y encontramos que  $(t\ 0.95)=1.73$ .

Calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura, esfuerzo al límite proporcional y el módulo de elasticidad para compresión paralela para probetas secas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 39.7755$$

$$\mu= 305.8610$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 305.8610 - 1.73 \left( \frac{39.7755}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 289.6419 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 26.3644$$

$$\mu= 228.4146$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 228.4146 - 1.73 \left( \frac{26.3644}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 217.6641 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 5234.9442$$

$$\mu= 35158.2085$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 35158.2085 - 1.73 \left( \frac{5234.9442}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 33023.5819 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de compresión axial o paralela al grano se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) de 1.60 y un coeficiente de duración de carga (F.D.C.) de 1.25.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = \frac{288.7045}{1.60 \times 1.25}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = 144.8210 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad seco, se puede observar que el esfuerzo admisible para compresión axial o paralela al grano en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 144.8210 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.3.2 COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO

#### 3.6.3.2.1 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Para hallar la compresión perpendicular al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°3

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{2120 \text{ kg}}{(5 \times 5.05) \text{ cm}^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 83.9604 \text{ kg/cm}^2$$

Mientras que para el caso del Esfuerzo al Límite Proporcional, se tomó la cuarta parte de los valores obtenidos de esfuerzo al límite proporcional del ensayo de compresión paralela.

Para hallar el Esfuerzo al Límite Proporcional se utilizó la fórmula

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{\text{E. L. P. comp. parale.}}{4} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°3

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{173.200}{4} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL} = 43.300 \text{ kg/cm}^2$$



TABLA 52 ANÁLISIS DE DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR (HÚMEDO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR HUMEDAD NATURAL			COMPRESIÓN PARALELA	CARGA FINAL	ESFUERZOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR ( $f_c^\perp$ )	
# PROBETA	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Esf limite proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	P (kg)	Esfuerzo de rotura ( $\sigma_R$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo limite proporcional ( $\sigma_{LP}$ )(kg/cm <sup>2</sup> )
1	5.00	5.00	262.80000	3270	130.8000	65.7000
2	5.10	5.00	204.80000	3250	127.4510	51.2000
3	5.00	5.05	173.20000	2120	83.96040	43.3000
4	5.00	5.10	103.60000	2710	106.2745	25.9000
5	5.00	5.05	169.20000	3140	124.3564	42.3000
6	5.05	5.03	147.60000	3020	118.8906	36.9000
7	5.00	5.02	143.60000	3010	119.9203	35.9000
8	5.10	5.05	180.80000	2670	103.6692	45.2000
9	5.10	5.10	134.90196	2650	101.8839	33.7255
10	5.05	5.03	134.40000	1860	73.22400	33.6000
11	5.00	5.02	167.33601	2670	106.3745	41.8340
12	5.10	5.03	160.53922	2040	79.52290	40.1348
13	5.03	5.03	130.96755	2150	84.97720	32.7419
14	5.10	5.00	128.68526	1920	75.29410	32.1713
15	5.00	5.00	136.80000	2350	94.00000	34.2000
16	5.00	5.02	164.48980	2370	94.42230	41.1224
17	5.05	5.00	177.20000	2370	93.86140	44.3000
18	5.05	5.00	176.30522	1820	72.07920	44.0763
19	5.05	5.00	193.20000	2150	85.14850	48.3000
20	5.01	5.00	261.01010	2100	83.83230	65.2525

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 47 se calculó los esfuerzos de rotura y los esfuerzos al límite proporcional para compresión perpendicular al grano

Para encontrar los valores típicos de compresión perpendicular al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 53 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR		
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )
1	130.80000	65.70000
2	127.45098	51.20000
3	83.96040	43.30000
4	106.27451	25.90000
5	124.35644	42.30000
6	118.89062	36.90000
7	119.92032	35.90000
8	103.66919	45.20000
9	101.88389	33.72549
10	73.22402	33.60000
11	106.37450	41.83400
12	79.52286	40.13480
13	84.97721	32.74189
14	75.29412	32.17131
15	94.00000	34.20000
16	94.42231	41.12245
17	93.86139	44.30000
18	72.07921	44.07631
19	85.14851	48.30000
20	83.83234	65.25253

$\Sigma$	1959.942812	837.858779
Xprom ( $\mu$ )	97.99714062	41.89293895

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 48 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad natural para los esfuerzos de compresión perpendicular al grano.



TABLA 54 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (HÚMEDO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR				CRITERIO DE CHAUVENET	
$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$(X_i - \mu)L_p$	$(X_i - \mu)L_p^2$	ABS((X-u)/S)>2.0	
32.80	1076.03	23.80706105	566.78	1.79734044	OK
29.45	867.53	9.307061048	86.62	1.61384032	OK
-14.04	197.03	1.407061048	1.98	0.76910395	OK
8.28	68.51	-15.99293895	255.77	0.45353517	OK
26.36	694.81	0.407061048	0.17	1.44428345	OK
20.89	436.54	-4.992938952	24.93	1.14479927	OK
21.92	480.63	-5.992938952	35.92	1.20121889	OK
5.67	32.17	3.307061048	10.94	0.31078402	OK
3.89	15.11	-8.167448756	66.71	0.21296355	OK
-24.77	613.71	-8.292938952	68.77	1.35737336	OK
8.38	70.18	-0.058936275	0.003	0.45901396	OK
-18.47	341.30	-1.75813503	3.09	1.0122461	OK
-13.02	169.52	-9.151050902	83.74	0.71339025	OK
-22.70	515.43	-9.721624211	94.51	1.2439483	OK
-4.00	15.98	-7.692938952	59.18	0.21901208	OK
-3.57	12.78	-0.770489972	0.59	0.19587275	OK
-4.14	17.10	2.407061048	5.79	0.22660704	OK
-25.92	671.74	2.183366269	4.77	1.42010024	OK
-12.85	165.09	6.407061048	41.05	0.70400432	OK
-14.16	200.64	23.3595863	545.67	0.77612067	OK

$\Sigma =$	6661.82	$\Sigma =$	1956.98
$S_r =$	18.25	$S_{lp} =$	9.89

$$C_{vr} = 0.186237852 \quad C_{vlp} = 0.23612259$$

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 49 se calcula la desviación estándar ( $S_r$ ) y el coeficiente de variación ( $C_{vr}$ ) para las 20 de probetas de compresión perpendicular al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.





$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $$S = \sqrt{\frac{6661.82}{20}}$$

$$S = 18.2508$$

- $$CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{18.2508}{97.9971}$$

$$CV = 0.186238$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 3

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(83.9604 - 97.9971)}{18.2508} = 0.769104 \leq 2.0 \text{ Cumple}$$

Así como la probeta N°3 cumple con el criterio de Chauvenet, todas las demás probetas también lo cumplieron, por lo tanto no se eliminó ninguna.

Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, esta función se encuentra tabulada en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$\mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right); N = 20$$



Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t_{0.95}$  entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t_{0.95})=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura y esfuerzo al límite proporcional, para compresión perpendicular al grano para probetas húmedas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 18.2508$$

$$\mu= 97.9971$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 97.9971 - 1.73 \left( \frac{18.2508}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 90.7536 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 9.9819$$

$$\mu= 41.8929$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 41.8929 - 1.73 \left( \frac{9.9819}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 37.9312 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de compresión perpendicular se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) único de 1.60.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Perpendicular} = \frac{90.7536}{1.60}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Perpendicular} = 56.7210 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad natural, se puede observar que el esfuerzo admisible para compresión perpendicular en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 56.7210 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el esfuerzo al límite proporcional alcanzo los 37.9312 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.3.2.2 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

Para hallar la compresión perpendicular al grano se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{P_{\max}}{\text{Area}} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°4

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{2790\text{kg}}{(5 \times 5.10)\text{cm}^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 109.4118 \text{ kg/cm}^2$$

Mientras que para el caso del Esfuerzo al Límite Proporcional, se tomó la cuarta parte de los valores obtenidos de esfuerzo al límite proporcional del ensayo de compresión paralela.

Para hallar el Esfuerzo al Límite Proporcional se utilizó la formula

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{\text{E. L. P. comp. parale.}}{4} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°4

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{215.2941}{4} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL} = 53.8236 \text{ kg/cm}^2$$



TABLA 55 ANÁLISIS DE DATOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR HUMEDAD NATURAL			COMPRESIÓN PARALELA	CARGA FINAL	ESFUERZOS COMPRESIÓN PERPENDICULAR ( $f_{c\perp}$ )	
# PROBETA	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Esf limite proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	# PROBETA	Ancho (cm)	Espesor (cm)
1	5.00	5.00	98.61386139	2640	105.6000	24.65346535
2	5.00	5.10	178.8235294	1800	70.58820	44.70588235
3	5.00	5.00	242.3529412	2650	106.0000	60.58823529
4	5.00	5.10	215.2941176	2790	109.4118	53.82352941
5	5.00	5.00	198.4313725	3090	123.6000	49.60784314
6	5.00	5.10	207.1713147	2230	87.45100	51.79282869
7	5.00	5.00	266.9387755	2620	104.8000	66.73469388
8	5.00	5.00	198.4313725	2610	104.4000	49.60784314
9	5.00	5.02	203.9215686	2500	99.60160	50.98039216
10	5.00	5.10	225.498008	1410	55.29410	56.37450199
11	5.00	5.10	225.7392753	2640	103.5294	56.43481883
12	5.00	5.05	226.5306122	2030	80.39600	56.63265306
13	5.00	5.05	218.6588921	2450	97.02970	54.66472303
14	5.00	5.10	264.8896293	4860	190.5882	66.22240733
15	5.00	5.10	265.3061224	1830	71.76470	66.32653061
16	5.00	5.00	272.244898	3200	128.0000	68.06122449
17	5.00	5.10	214.6938776	2880	112.9412	53.67346939
18	5.00	5.00	218.7755102	2780	111.2000	54.69387755
19	5.00	5.05	259.6078431	3720	147.3267	64.90196078
20	5.00	5.10	236.5680966	2700	105.8824	59.14202416

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 50 se calculó los esfuerzos de rotura y los esfuerzos al límite proporcional para compresión perpendicular al grano.

Para encontrar los valores típicos de compresión perpendicular al grano se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 56 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (SECO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR		
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )
1	105.60000	24.65347
2	70.58824	44.70588
3	106.00000	60.58824
4	109.41176	53.82353
5	123.60000	49.60784
6	87.45098	51.79283
7	104.80000	66.73469
8	104.40000	49.60784
9	99.60159	50.98039
10	55.29412	56.37450
11	103.52941	56.43482
12	80.39604	56.63265
13	97.02970	54.66472
14	190.58824	66.22241
15	71.76471	66.32653
16	128.00000	68.06122
17	112.94118	53.67347
18	111.20000	54.69388
19	147.32673	64.90196
20	105.88235	59.14202

$\Sigma$	2115.405049	1109.622905
Xprom ( $\mu$ )	105.7702525	55.48114523

Fuente: Elaboración Propia

$\Sigma$ = Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$



En la tabla N° 51 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de compresión perpendicular al grano.

Tabla 57 MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (SECO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR				CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
-0.17	0.03	-30.82767988	950.35	0.00604373	OK
-35.18	1237.77	-10.77526288	116.11	1.24891388	OK
0.23	0.05	5.107090063	26.08	0.00815573	OK
3.64	13.26	-1.657615819	2.75	0.12926874	OK
17.83	317.90	-5.873302094	34.50	0.63293185	OK
-18.32	335.60	-3.688316546	13.60	0.65030931	OK
-0.97	0.94	11.25354865	126.64	0.03444265	OK
-1.37	1.88	-5.873302094	34.50	0.0486421	OK
-6.17	38.05	-4.500753074	20.26	0.21897902	OK
-50.48	2547.84	0.893356761	0.80	1.79183431	OK
-2.24	5.02	0.953673594	0.91	0.0795468	OK
-25.37	643.85	1.15150783	1.33	0.90075013	OK
-8.74	76.40	-0.816422199	0.67	0.31027765	OK
84.82	7194.09	10.7412621	115.37	3.01092332	ELIMINAR
-34.01	1156.38	10.84538538	117.62	1.20715077	OK
22.23	494.16	12.58007926	158.26	0.78912588	OK
7.17	51.42	-1.807675843	3.27	0.25455807	OK
5.43	29.48	-0.78726768	0.62	0.19274867	OK
41.56	1726.94	9.420815553	88.75	1.47519867	OK
0.11	0.01	3.660878925	13.40	0.00397941	OK

Σ=	15871.08	Σ=	1825.77
Sr=	28.1701	Slp=	9.55

CVr= 0.26633283      CVlp= 0.172211838

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla N° 52 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de compresión perpendicular al grano y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $$S = \sqrt{\frac{15871.0801}{20}}$$

$$S = 28.1701$$

- $$CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{28.1701}{105.7703}$$

$$CV = 0.26633$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 14

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(190.5882 - 105.7703)}{28.1701} = 3.0109 \geq 2.0 \text{ No cumple}$$

Como la probeta N°14 no cumple con el criterio de Chauvenet se prosigue a descartarla y se vuelven a realizar los cálculos.



TABLA 58 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECOS) CORREGIDOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR		
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )
1	105.60000	24.65347
2	70.58824	44.70588
3	106.00000	60.58824
4	109.41176	53.82353
5	123.60000	49.60784
6	87.45098	51.79283
7	104.80000	66.73469
8	104.40000	49.60784
9	99.60159	50.98039
10	55.29412	56.37450
11	103.52941	56.43482
12	80.39604	56.63265
13	97.02970	54.66472
15	71.76471	66.32653
16	128.00000	68.06122
17	112.94118	53.67347
18	111.20000	54.69388
19	147.32673	64.90196
20	105.88235	59.14202

$\Sigma$	1924.816814	1043.400497
Xprom ( $\mu$ )	101.3061481	54.91581565

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 59 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR (SECO)  
CORREGIDOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR			
$(X_i - \mu)R$	$(X_i - \mu)R^2$	$(X_i - \mu)Lp$	$(X_i - \mu)Lp^2$
4.29385	18.43716	-30.26235	915.80985
-30.71791	943.59017	-10.20993	104.24274
4.69385	22.03225	5.67242	32.17634
8.10562	65.70102	-1.09229	1.19309
22.29385	497.01583	-5.30797	28.17457
-13.85517	191.96567	-3.12299	9.75305
3.49385	12.20700	11.81888	139.68588
3.09385	9.57192	-5.30797	28.17457
-1.70455	2.90551	-3.93542	15.48756
-46.01203	2117.10695	1.45869	2.12777
2.22326	4.94290	1.51900	2.30737
-20.91011	437.23264	1.71684	2.94753
-4.27645	18.28798	-0.25109	0.06305
-29.54144	872.69681	11.41071	130.20442
26.69385	712.56173	13.14541	172.80177
11.63503	135.37389	-1.24235	1.54342
9.89385	97.88831	-0.22194	0.04926
46.02058	2117.89420	9.98615	99.72309
4.57620	20.94165	4.22621	17.86084

$\Sigma =$	8298.3536	$\Sigma =$	1704.3262
$Sr =$	20.8987	$Slp =$	9.4711

$CVr =$  0.206292       $CVlp =$  0.172465

Fuente: Elaboración Propia



Para escoger el dato representativo de la muestra se aplicó la distribución estadística de Student (t) especial para pequeñas muestras, esta función se encuentra tabulada en el anexo.

El Percentil 5% equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t) y está dado por la siguiente fórmula:

$$\mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right); N = 19$$

Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t_{0.95}$  entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t_{0.95})=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura y esfuerzo al límite proporcional, para compresión perpendicular al grano para probetas secas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 20.8987$$

$$\mu= 101.3061$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 101.3061 - 1.73 \left( \frac{20.8987}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 92.7843 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 9.4711$$

$$\mu= 54.9158$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 54.9158 - 1.73 \left( \frac{9.4711}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 51.0538 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de compresión perpendicular se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) único de 1.60.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Perpendicular} = \frac{92.7843}{1.60}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Perpendicular} = 57.9902 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad secas, se puede observar que el esfuerzo admisible para compresión perpendicular en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 57.9902 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el esfuerzo al límite proporcional alcanzo los 51.0538 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.4 FLEXIÓN

#### 3.6.4.1 FLEXIÓN ESTÁTICA

##### 3.6.4.1.1 ANÁLISIS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Para hallar el esfuerzo de rotura de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{3 \times P_{\max} \times \text{Luz}}{2 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^2} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°12:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{3 \times 550.647 \times 17.50}{2 \times 2.50 \times (2.48)^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 940.0679 \text{ kg/cm}^2$$

Para hallar el esfuerzo al límite proporcional de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{3 \times P_{lp} \times \text{Luz}}{2 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^2} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°12:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{3 \times 356.9010 \times 17.50}{2 \times 2.50 \times (2.48)^2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = 609.3035 \text{ kg/cm}^2$$

Y para hallar el módulo de elasticidad de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{P_{lp} \times \text{Luz}^3}{4 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^3 \times \text{DI}} \text{ Kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°12:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{356.9010 \times 17.5^3}{4 \times 2.50 \times (2.48)^3 \times 0.3531} = 35518.8055 \text{ Kg/cm}^2$$



TABLA 60 ANÁLISIS DE DATOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA HUMEDAD NATURAL					CARGAS		DEFORMA CIÓN	ESFUERZOS FLEXIÓN ESTÁTICA (fm)		
# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	P´(kg)	P (kg)	DI (cm)	Esfuerzo de rotura ( $\sigma_R$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo limite proporcional ( $\sigma_{LP}$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (MOE)(kg/cm <sup>2</sup> )
1	41.00	17.50	2.50	2.50	346.7040	560.8440	0.3048	942.2179	582.4627	39,015.5748
2	40.98	17.50	2.50	2.50	295.7180	469.0690	0.3353	788.0359	496.8062	30,252.7064
3	41.00	17.50	2.50	2.50	295.7180	469.0690	0.3353	788.0359	496.8062	30,252.7064
4	40.98	17.50	2.50	2.48	254.9290	479.2670	0.2997	818.2075	435.2163	29,885.6442
5	41.00	17.50	2.50	2.50	234.5350	509.8580	0.2337	856.5614	394.0188	34,425.4985
6	41.00	17.50	2.50	2.50	254.9290	489.4640	0.3048	822.2995	428.2807	28,687.8763
7	40.98	17.50	2.50	2.50	407.8860	550.6470	0.3937	925.0870	685.2485	35,535.9152
8	41.00	17.50	2.50	2.50	428.2810	611.8300	0.3988	1,027.8744	719.5121	36,837.4500
9	41.00	17.50	2.50	2.50	316.1120	530.2520	0.3937	890.8234	531.0682	27,540.3647
10	41.00	17.50	2.50	2.50	387.4920	463.9710	0.5588	779.4713	650.9866	23,784.8525
11	41.00	17.50	2.50	2.50	387.4920	550.6470	0.4699	925.0870	650.9866	28,284.6895
12	41.00	17.50	2.50	2.48	356.9010	550.6470	0.3531	940.0679	609.3035	35,518.8055
13	41.00	17.50	2.50	2.48	346.7040	550.6470	0.2870	940.0679	591.8952	42,442.9728
14	41.00	17.50	2.50	2.50	326.3090	509.8580	0.3912	856.5614	548.1991	28,613.3518
15	41.00	17.50	2.50	2.50	407.8860	560.8440	0.3988	942.2179	685.2485	35,083.2283
16	41.00	17.50	2.50	2.48	295.7180	509.8580	0.3251	870.4327	504.8516	31,958.9997
17	41.00	17.50	2.50	2.50	305.9150	469.0690	0.3302	788.0359	513.9372	31,777.3607
18	41.00	17.50	2.50	2.51	305.9150	611.8300	0.3556	1,019.7005	509.8502	29,156.2726
19	41.00	17.50	2.50	2.48	244.7320	458.8720	0.2591	783.3890	417.8079	33,190.6666
20	41.00	17.50	2.50	2.50	305.9150	448.6750	0.3886	753.7740	513.9372	27,000.3718

Fuente: Elaboración Propia

Para encontrar los valores típicos de flexión estática se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 61 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	942.21792	582.46272	39015.57480
2	788.03592	496.80624	30252.70639
3	788.03592	496.80624	30252.70639
4	818.20751	435.21633	29885.64422
5	856.56144	394.01880	34425.49855
6	822.29952	428.28072	28687.87631
7	925.08696	685.24848	35535.91516
8	1027.87440	719.51208	36837.44997
9	890.82336	531.06816	27540.36474
10	779.47128	650.98656	23784.85254
11	925.08696	650.98656	28284.68951
12	940.06788	609.30354	35518.80546
13	940.06788	591.89516	42442.97285
14	856.56144	548.19912	28613.35183
15	942.21792	685.24848	35083.22835
16	870.43265	504.85155	31958.99970
17	788.03592	513.93720	31777.36069
18	1019.70048	509.85024	29156.27257
19	783.38905	417.80795	33190.66658
20	753.77400	513.93720	27000.37183

Σ	17457.94842	10966.42333	639245.3085
Xprom (μ)	872.8974211	548.3211666	31962.26542

Fuente: Elaboración Propia

Σ= Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 56 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de flexión estática.



TABLA 62 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (HÚMEDO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA						CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
69.3205	4805.3316	34.1416	1165.6457	7053.3094	49749173.2191	0.86448858	OK
-84.8615	7201.4744	-51.5149	2653.7877	-1709.5590	2922592.0697	1.05829876	OK
-84.8615	7201.4744	-51.5149	2653.7877	-1709.5590	2922592.0697	1.05829876	OK
-54.6899	2990.9858	-113.1048	12792.7047	-2076.6212	4312355.6055	0.68203201	OK
-16.3360	266.8643	-154.3024	23809.2203	2463.2331	6067517.4158	0.20372428	OK
-50.5979	2560.1476	-120.0404	14409.7088	-3274.3891	10721624.0448	0.63100105	OK
52.1895	2723.7480	136.9273	18749.0892	3573.6497	12770972.4737	0.65085019	OK
154.9770	24017.8640	171.1909	29306.3288	4875.1845	23767424.3957	1.93270144	OK
17.9259	321.3393	-17.2530	297.6662	-4421.9007	19553205.6041	0.22355248	OK
-93.4261	8728.4438	102.6654	10540.1830	-8177.4129	66870081.4320	1.16510748	OK
52.1895	2723.7480	102.6654	10540.1830	-3677.5759	13524564.6040	0.65085019	OK
67.1705	4511.8708	60.9824	3718.8500	3556.5400	12648977.0406	0.83767568	OK
67.1705	4511.8708	43.5740	1898.6930	10480.7074	109845228.0931	0.83767568	OK
-16.3360	266.8643	-0.1220	0.0149	-3348.9136	11215222.2813	0.20372428	OK
69.3205	4805.3316	136.9273	18749.0892	3120.9629	9740409.5727	0.86448858	OK
-2.4648	6.0751	-43.4696	1889.6072	-3.2657	10.6650	0.03073784	OK
-84.8615	7201.4744	-34.3840	1182.2572	-184.9047	34189.7599	1.05829876	OK
146.8031	21551.1384	-38.4709	1480.0122	-2805.9928	7873595.8624	1.83076536	OK
-89.5084	8011.7489	-130.5132	17033.7004	1228.4012	1508969.3982	1.11624941	OK
-119.1234	14190.3895	-34.3840	1182.2572	-4961.8936	24620388.0380	1.48557553	OK

Σ=	128598.1846	Σ=	174052.78615	Σ=	390669093.6452
Sr=	80.1867	Slp=	93.28794	Smoe=	4419.6668
CVr=	0.091862701	CVlp=	0.170133752	Cvmoe=	0.138277645

Fuente: Elaboración Propia





En la tabla N° 57 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de flexión estática y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $$S = \sqrt{\frac{128598.1846}{20}}$$

$$S = 80.1867$$

- $$CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{80.1867}{872.8974}$$

$$CV = 0.0918$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 12

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(940.0679 - 872.8974)}{80.1867} = 0.8376 \leq 2.0 \text{ Cumple}$$

Así como la probeta N°12 cumple con el criterio de Chauvenet, todas las demás probetas también lo cumplieron, por lo tanto no se eliminó ninguna.



Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t_{0.95}$  entramos a la tabulación de la función (t) en el anexo y encontramos que  $(t_{0.95})=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad, de flexión estática para probetas húmedas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 80.1867$$

$$\mu= 872.8974$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 872.8974 - 1.73 \left( \frac{80.1867}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 872.8974 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 93.2879$$

$$\mu= 548.3212$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 548.3212 - 1.73 \left( \frac{93.2879}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 511.2962 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=20$$

$$S= 4419.6668$$

$$\mu= 31962.2654$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 31962.2654 - 1.73 \left( \frac{4419.6668}{\sqrt{20-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 30208.1473 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de flexión estática se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) de 2.00, un coeficiente de duración de carga (F.D.C.) de 1.15, un coeficiente de reducción por calidad (F.C.) de 0.80 y un coeficiente de reducción por tamaño (F.T.) de 0.90.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = \frac{841.0722 \times 0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = 263.2922 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad natural, se puede observar que el esfuerzo admisible para flexión estática en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 263.2922 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.4.1.2 ANÁLISIS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

Para hallar el esfuerzo de rotura de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{3 \times P_{\max} \times \text{Luz}}{2 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^2} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°8:

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = \frac{3 \times 520.0550 \times 17.50}{2 \times 2.50 \times (2.50)^2}$$

$$\text{ESFUERZO DE ROTURA} = 873.6924 \text{ kg/cm}^2$$

Para hallar el esfuerzo al límite proporcional de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{3 \times P_{lp} \times \text{Luz}}{2 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^2} \text{ kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°8:

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = \frac{3 \times 367.0980 \times 17.50}{2 \times 2.50 \times (2.50)^2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL} = 616.7246 \text{ kg/cm}^2$$

Y para hallar el módulo de elasticidad de flexión estática se utilizó la fórmula:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{P_{lp} \times \text{Luz}^3}{4 \times \text{Ancho} \times (\text{Altura})^3 \times \text{DI}} \text{ Kg/cm}^2$$

En el caso de la probeta N°8:

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = \frac{367.0980 \times 17.5^3}{4 \times 2.50 \times (2.50)^3 \times 0.4242}$$

$$\text{MODULO DE ELASTICIDAD} = 29684.2411 \text{ Kg/cm}^2$$



TABLA 63 ANÁLISIS DE DATOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA HUMEDAD SECO					CARGAS		DEFORMACIÓN	ESFUERZOS FLEXIÓN ESTÁTICA (fm)		
# PROBETA	Largo (cm)	Luz (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	P´(kg)	P (kg)	DI (cm)	Esfuerzo de rotura (σR)(kg/cm2)	Esfuerzo limite proporcional (σLP)(kg/cm2)	Módulo de elasticidad (MOE)(kg/cm2)
1	41.00	17.50	2.50	2.51	285.5210	509.8580	0.2794	849.74985	475.86078	34634.15816
2	40.98	17.50	2.50	2.51	244.7320	489.4640	0.2718	815.76038	407.88019	30518.71522
3	40.98	17.50	2.50	2.50	305.9150	458.8720	0.3200	770.90496	513.93720	32786.16579
4	41.00	17.50	2.50	2.50	305.9150	520.0550	0.3061	873.69240	513.93720	34282.62979
5	41.00	17.50	2.50	2.48	326.3090	520.0550	0.4242	887.84103	557.07669	27029.49727
6	41.00	17.50	2.50	2.48	260.0280	418.0840	0.5537	713.75553	443.92137	16500.19243
7	40.90	17.50	2.50	2.50	326.3090	489.4640	0.5309	822.29952	548.19912	21083.52240
8	41.00	17.50	2.50	2.50	367.0980	520.0550	0.4242	873.69240	616.72464	29684.24112
9	41.00	17.50	2.50	2.50	305.9150	499.6610	0.4064	839.43048	513.93720	25819.10556
10	41.00	17.50	2.50	2.48	254.9290	458.8720	0.3175	783.38905	435.21633	28212.04815
11	41.00	17.50	2.50	2.50	356.9010	520.0550	0.4737	873.69240	599.59368	25842.19100
12	41.00	17.50	2.50	2.48	244.7320	407.8860	0.3226	696.34544	417.80795	26657.07079
13	41.48	17.50	2.48	2.50	275.3230	458.8720	0.3861	777.12194	466.27282	24657.42021
14	41.48	17.50	2.50	2.50	254.9290	499.6610	0.3505	839.43048	428.28072	24945.97940
15	41.00	17.50	2.50	2.50	305.9150	479.2670	0.4166	805.16856	513.93720	25189.37128
16	41.00	17.50	2.48	2.50	254.9290	412.9850	0.4902	699.41008	431.73460	17980.86849
17	41.00	17.50	2.50	2.50	275.3230	438.4780	0.4267	736.64304	462.54264	22130.62172
18	41.00	17.50	2.50	2.52	326.3090	520.0550	0.3861	859.87930	539.53208	28305.07249
19	41.00	17.50	2.51	2.52	387.4920	581.2380	0.4064	957.21282	638.14188	31804.44727
20	41.00	17.50	2.50	2.50	244.7320	458.8720	0.4331	770.90496	411.14976	19383.25813

Fuente: Elaboración Propia

Para encontrar los valores típicos de flexión estática se utilizaron los métodos estadísticos.

TABLA 64 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA			
# PROBET A	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	849.74985	475.86078	34634.15816
2	815.76038	407.88019	30518.71522
3	770.90496	513.93720	32786.16579
4	873.69240	513.93720	34282.62979
5	887.84103	557.07669	27029.49727
6	713.75553	443.92137	16500.19243
7	822.29952	548.19912	21083.52240
8	873.69240	616.72464	29684.24112
9	839.43048	513.93720	25819.10556
10	783.38905	435.21633	28212.04815
11	873.69240	599.59368	25842.19100
12	696.34544	417.80795	26657.07079
13	777.12194	466.27282	24657.42021
14	839.43048	428.28072	24945.97940
15	805.16856	513.93720	25189.37128
16	699.41008	431.73460	17980.86849
17	736.64304	462.54264	22130.62172
18	859.87930	539.53208	28305.07249
19	957.21282	638.14188	31804.44727
20	770.90496	411.14976	19383.25813

Σ	16246.32461	9935.684045	527446.5767
Xprom (μ)	812.3162306	496.7842023	26372.32883

Fuente: Elaboración Propia

Σ= Sumatorio de todas las esfuerzos de rotura

$$X \text{ prom } (\mu) = \frac{\Sigma}{N(\text{cantidad de muestras})}$$

En la tabla N° 59 se calcula los promedios aritméticos para las 20 probetas con contenido de humedad seco para los esfuerzos de compresión perpendicular al grano.



TABLA 65 DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CHAUVENET DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO)

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA						CRITERIO DE CHAUVENET	
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>	ABS((X-u)/S)>2.0	
37.4336	1401.2755	-20.9234	437.7896	8261.8293	68257823.8046	0.55666985	OK
3.4442	11.8622	-88.9040	7903.9230	4146.3864	17192520.0535	0.05121752	OK
-41.4113	1714.8933	17.1530	294.2253	6413.8370	41137304.5297	0.61582099	OK
61.3762	3767.0342	17.1530	294.2253	7910.3010	62572861.2343	0.9127161	OK
75.5248	5703.9960	60.2925	3635.1846	657.1684	431870.3493	1.12311839	OK
-98.5607	9714.2121	-52.8628	2794.4789	-9872.1364	97459077.2614	1.46568189	OK
9.9833	99.6661	51.4149	2643.4938	-5288.8064	27971473.5143	0.14846005	OK
61.3762	3767.0342	119.9404	14385.7086	3311.9123	10968763.0215	0.9127161	OK
27.1142	735.1825	17.1530	294.2253	-553.2233	306055.9890	0.40321206	OK
-28.9272	836.7819	-61.5679	3790.6032	1839.7193	3384567.1520	0.43017193	OK
61.3762	3767.0342	102.8095	10569.7887	-530.1378	281046.1192	0.9127161	OK
-115.9708	13449.2241	-78.9763	6237.2488	284.7420	81077.9846	1.72458477	OK
-35.1943	1238.6384	-30.5114	930.9443	-1714.9086	2940911.5892	0.52336925	OK
27.1142	735.1825	-68.5035	4692.7271	-1426.3494	2034472.7001	0.40321206	OK
-7.1477	51.0892	17.1530	294.2253	-1182.9576	1399388.5752	0.10629197	OK
-112.9061	12747.7987	-65.0496	4231.4512	-8391.4603	70416606.7058	1.67901096	OK
-75.6732	5726.4318	-34.2416	1172.4846	-4241.7071	17992079.2423	1.12532503	OK
47.5631	2262.2455	42.7479	1827.3808	1932.7437	3735498.0457	0.70730348	OK
144.8966	20995.0203	141.3577	19981.9922	5432.1184	29507910.6562	2.15473606	ELIMINAR
-41.4113	1714.8933	-85.6344	7333.2577	-6989.0707	48847109.2430	0.61582099	OK

Σ=	90439.4959	Σ=	93745.35833	Σ=	506918417.7709
Sr=	67.2456	Slp=	68.46362	Smoe=	5034.4732
CVr=	0.082782576	CVlp=	0.137813611	Cvmoe=	0.190899836

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla N° 60 se calcula la desviación estándar (Sr) y el coeficiente de variación (Cvr) para las 20 de probetas de flexión estática y se les aplico el criterio de Chauvenet.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

N= Numero de datos

$\mu$ = Media aritmética

- $$S = \sqrt{\frac{90439.4959}{20}}$$

$$S = 67.2456$$

- $$CV = \frac{S}{\mu}$$

$$CV = \frac{67.2456}{812.3162}$$

$$CV = 0.08278$$

Se aplica el criterio de Chauvenet a la probeta N° 19

$$\frac{ABS(X_i - \mu)}{s} \leq 2.0 \rightarrow \frac{ABS(957.2128 - 812.3162)}{67.2456} = 2.1547 \geq 2.0 \text{ No cumple}$$

Como la probeta N°19 no cumple con el criterio de Chauvenet se prosigue a descartarla y se vuelven a realizar los cálculos.





TABLA 66 VALORES DE PROMEDIOS ARITMÉTICOS FLEXIÓN ESTÁTICA (SECO) CORREGIDOS

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA			
# PROBETA	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Limite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	849.7498	475.8608	34634.1582
2	815.7604	407.8802	30518.7152
3	770.9050	513.9372	32786.1658
4	873.6924	513.9372	34282.6298
5	887.8410	557.0767	27029.4973
6	713.7555	443.9214	16500.1924
7	822.2995	548.1991	21083.5224
8	873.6924	616.7246	29684.2411
9	839.4305	513.9372	25819.1056
10	783.3890	435.2163	28212.0481
11	873.6924	599.5937	25842.1910
12	696.3454	417.8079	26657.0708
13	777.1219	466.2728	24657.4202
14	839.4305	428.2807	24945.9794
15	805.1686	513.9372	25189.3713
16	699.4101	431.7346	17980.8685
17	736.6430	462.5426	22130.6217
18	859.8793	539.5321	28305.0725
20	770.9050	411.1498	19383.2581

$\Sigma$	15289.11180	9297.54217	495642.12940
Xprom ( $\mu$ )	804.69009	489.34432	26086.42786

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 67 MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR FLEXIÓN ESTÁTICA (SECOS) CORREGIDO

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA					
(Xi-μ)R	(Xi-μ)R <sup>2</sup>	(Xi-μ)Lp	(Xi-μ)Lp <sup>2</sup>	(Xi-μ)MOE	(Xi-μ)MOE <sup>2</sup>
45.0598	2030.3811	-13.4835	181.8060	8547.7303	73063693.2071
11.0703	122.5513	-81.4641	6636.4048	4432.2874	19645171.1979
-33.7851	1141.4353	24.5929	604.8095	6699.7379	44886488.3112
69.0023	4761.3182	24.5929	604.8095	8196.2019	67177726.0338
83.1509	6914.0789	67.7324	4587.6739	943.0694	889379.8991
-90.9346	8269.0954	-45.4230	2063.2447	-9586.2354	91895909.8742
17.6094	310.0919	58.8548	3463.8869	-5002.9055	25029063.0978
69.0023	4761.3182	127.3803	16225.7447	3597.8133	12944260.2598
34.7404	1206.8944	24.5929	604.8095	-267.3223	71461.2133
-21.3010	453.7346	-54.1280	2929.8401	2125.6203	4518261.5895
69.0023	4761.3182	110.2494	12154.9204	-244.2369	59651.6439
-108.3447	11738.5640	-71.5364	5117.4533	570.6429	325633.3553
-27.5682	760.0034	-23.0715	532.2942	-1429.0077	2042062.8754
34.7404	1206.8944	-61.0636	3728.7638	-1140.4485	1300622.6926
0.4785	0.2289	24.5929	604.8095	-897.0566	804710.5152
-105.2800	11083.8813	-57.6097	3318.8807	-8105.5594	65700092.7648
-68.0471	4630.4016	-26.8017	718.3303	-3955.8061	15648402.2494
55.1892	3045.8483	50.1878	2518.8105	2218.6446	4922383.9836
-33.7851	1141.4353	-78.1946	6114.3899	-6703.1697	44932484.4216

$\Sigma=$	68339.47	$\Sigma=$	72711.68	$\Sigma=$	475857459.1
$Sr=$	59.97	$Slp=$	61.86	$Smoe=$	5004.51
	0.0745298		0.12641853		
Cvr=	7	Cvlp=	1	Cvmoe=	0.191843473

Fuente: Elaboración Propia



Se escoge el límite inferior, y con  $V=N-1$  y  $t$  0.95 entramos a la tabulación de la función ( $t$ ) en el anexo y encontramos que  $(t\ 0.95)=1.73$ .

Ahora calculamos el límite inferior en esfuerzo de rotura, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad para flexión estática para probetas secas:

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 59.9734$$

$$\mu= 804.6901$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 804.6901 - 1.73 \left( \frac{59.9734}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. rotura} = 780.2351 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 61.8622$$

$$\mu= 489.3443$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional.} = 489.3443 - 1.73 \left( \frac{61.8622}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% esf. limite proporcional} = 464.1191 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = \mu \pm t_{0.95} \left( \frac{S}{\sqrt{N-1}} \right)$$

$$N=19$$

$$S= 5004.5109$$

$$\mu= 26086.4279$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 26086.4279 - 1.73 \left( \frac{5004.5109}{\sqrt{19-1}} \right)$$

$$\text{PER 5\% Modulo de Elasticidad} = 24045.7640 \text{ kg/cm}^2$$



La Norma Técnica Peruana E.010, indica que para hallar los esfuerzos admisibles se utiliza una serie de coeficientes dependiendo al tipo de ensayo (tabla N°8), en el caso de flexión estática se utiliza un coeficiente de seguridad (F.S.) de 2.00, un coeficiente de duración de carga (F.D.C.) de 1.15, un coeficiente de reducción por calidad (F.C.) de 0.80 y un coeficiente de reducción por tamaño (F.T.) de 0.90.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = \frac{780.2351 \times 0.80 \times 0.90}{2.00 \times 1.15}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresion Axial o Paralela} = 244.2475 \text{ kg/cm}^2$$

**ANÁLISIS:** El en caso de contenido de humedad seco, se puede observar que el esfuerzo admisible para flexión estática en nuestra madera, a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), alcanzo los 244.2475 kg/cm<sup>2</sup>.

**CAPITULO IV: RESULTADOS****5. RESULTADOS****5.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS****4.1.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS****4.1.1.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD BÁSICA**

TABLA 68 CUADRO RESUMEN DE DENSIDAD BÁSICA

DENSIDAD BÁSICA CUADRO RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Densidad Básica	0.7468	0.049	0.06567	0.7334
Coefficiente de Seguridad	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

**4.1.2 RESULTADO DE ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS****4.1.2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO**

TABLA 69 CUADRO RESUMEN DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HUMEDAD NATURAL) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura	57.5302	7.7125	0.13406	54.4692
Coefficiente de Seguridad	-	-	-	4.00
Esfuerzo Admisible				13.6173

Fuente: Elaboración Propia



TABLA 70 CUADRO RESUMEN DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO (HUMEDAD SECO) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura	72.10838	3.6963	0.05126	70.6414
Coefficiente de Seguridad	-	-	-	4.00
Esfuerzo Admisible				17.6603

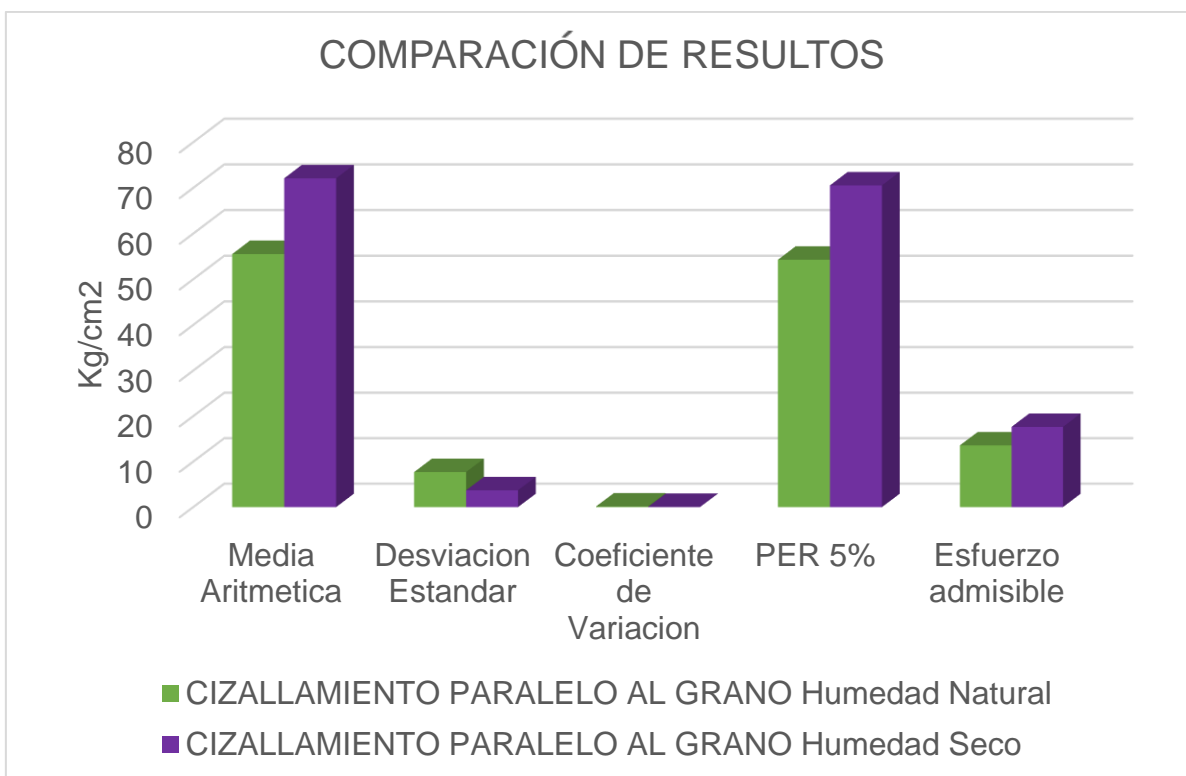
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 71 CUADRO COMPARATIVO DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO

CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO		
Kg/cm <sup>2</sup>	Humedad Natural	Humedad Seco
Media Aritmética	55.5302	72.10838
Desviación Estándar	7.7125	3.6963
Coefficiente de Variación	0.13406	0.05126
PER 5%	54.4692	70.6414
Esfuerzo admisible	13.6173	17.6603

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 72 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO**



Fuente: Elaboración Propia

**4.1.2.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO**

**TABLA 73 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

COMPRESIÓN O PARALELA AL GRANO (HUMEDAD NATURAL) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura	268.1063	40.5672	0.15131	250.9865
Esfuerzo al límite proporcional	165.8353	31.7075	0.19120	152.4544
Módulo de Elasticidad	44072.8087	41444.8275	0.9404	26582.5947
Coefficiente de Seguridad	-	-	-	1.60
Coefficiente de duración de carga	-	-	-	1.25
Esfuerzo Admisible				125.4932

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 74 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO CON  
CONTENIDO DE HUMEDAD SECO

COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HUMEDAD SECA) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura	305.861	39.7755	0.13004	289.6419
Esfuerzo al límite proporcional	228.4146	26.3644	0.11542	217.6641
Módulo de Elasticidad	35158.2085	5234.9442	0.14890	33023.5819
Coefficiente de Seguridad	-	-	-	1.60
Coefficiente de duración de carga	-	-	-	1.25
Esfuerzo Admisible				144.8210

Fuente: Elaboración Propia

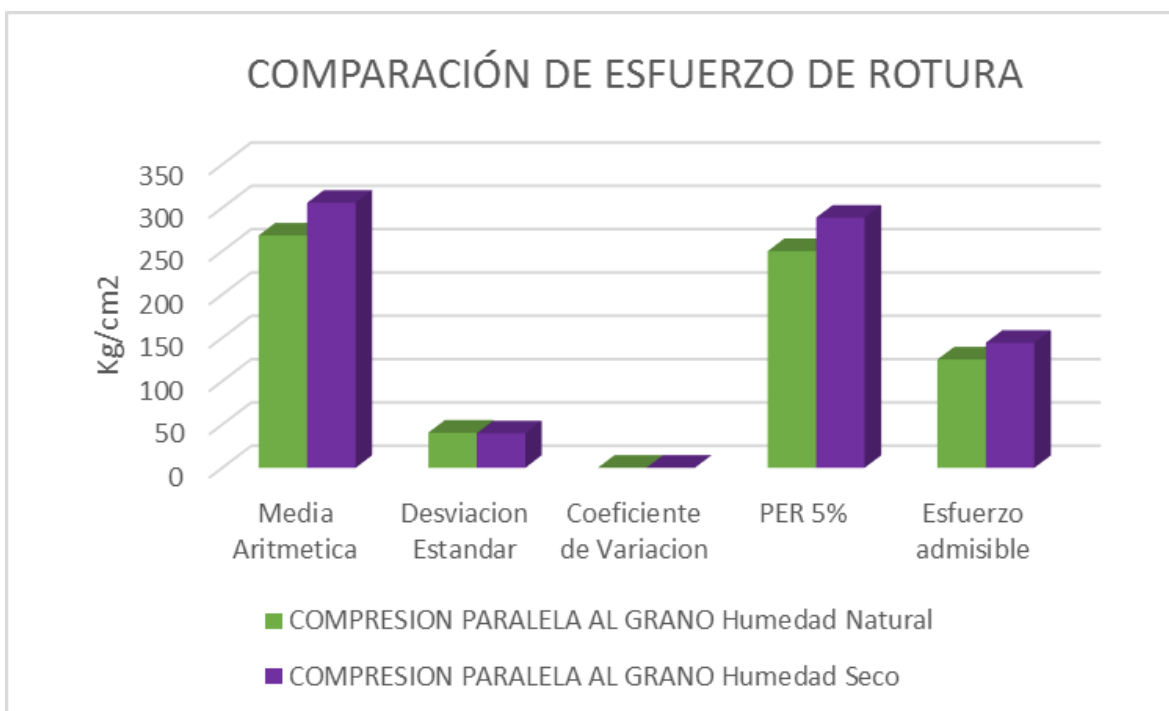
TABLA 75 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN  
AXIAL O PARALELA AL GRANO

COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO						
Kg/cm <sup>2</sup>	Humedad Natural			Humedad Seco		
	Esfuerzo Rotura	Esfuerzo. Lim. Prop	M.O.E.	Esfuerzo Rotura	Esfuerzo. Lim. Prop	M.O.E.
Media Aritmética	268.1063	165.8353	44072.81	305.861	228.4146	35158.21
Desviación Estándar	40.5672	31.7075	41444.83	39.7755	26.3644	5234.94
Coefficiente de Variación	0.15131	0.1912	0.9404	0.13004	0.11542	0.1489
PER 5%	250.9865	152.4544	26582.59	289.6419	217.6641	33023.582
Esfuerzo admisible	125.4932			144.8210		

Fuente: Elaboración Propia

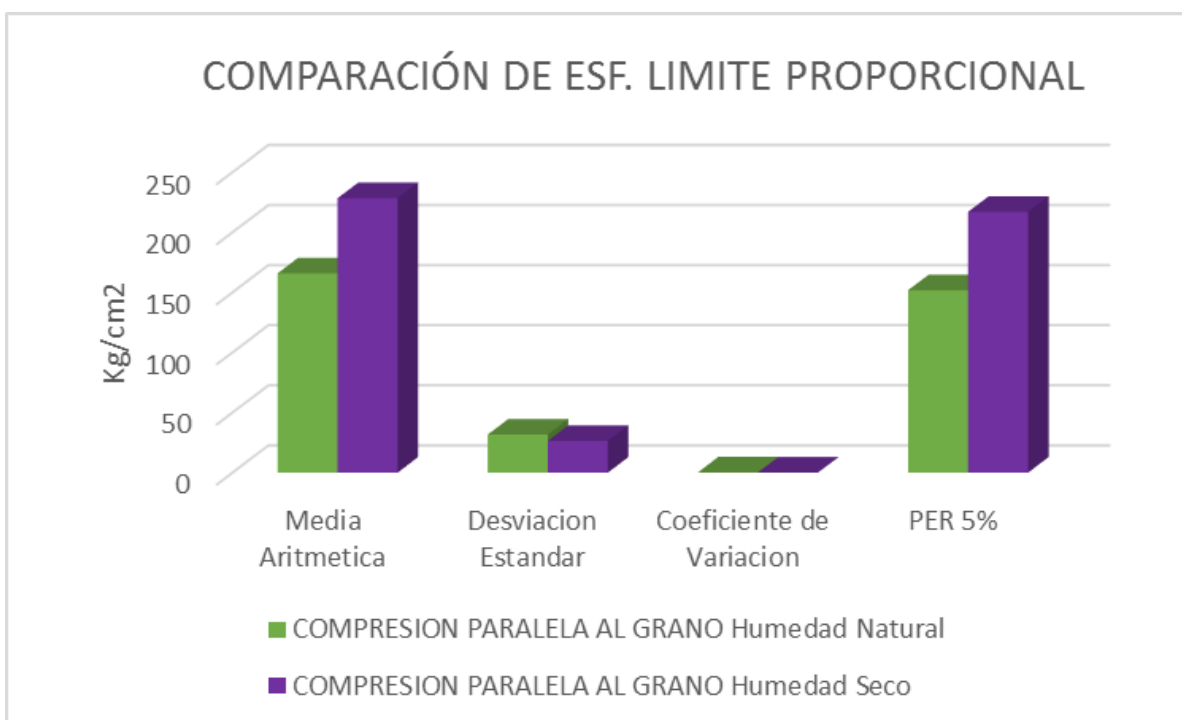


TABLA 76 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO



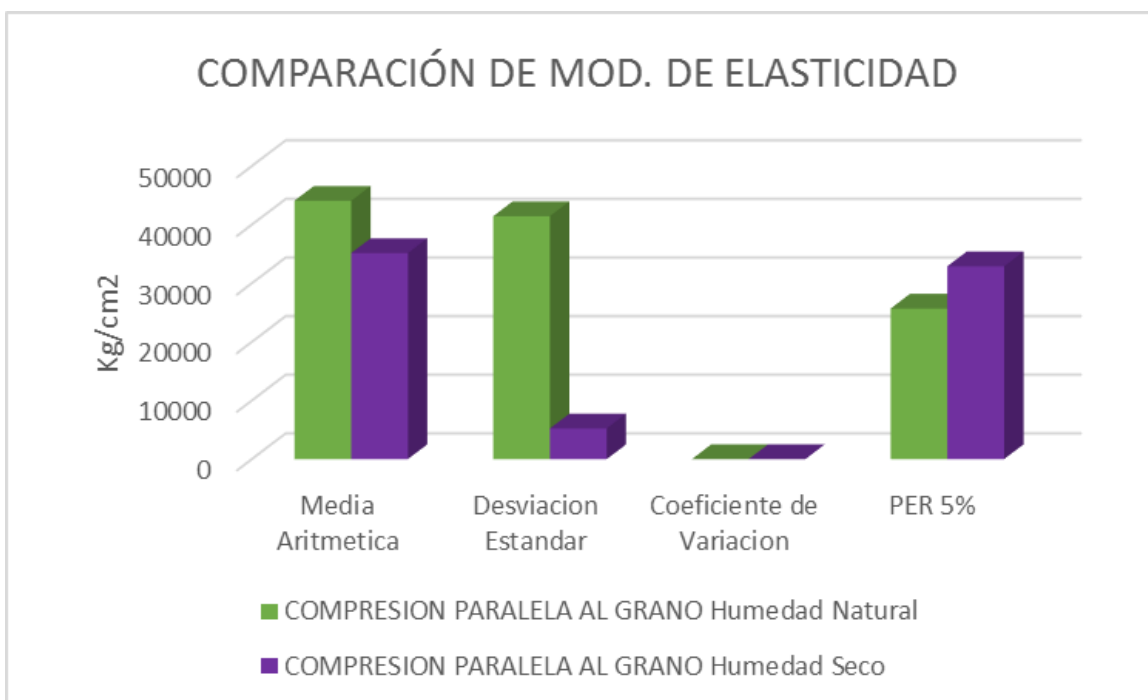
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 77 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 78 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO**



Fuente: Elaboración Propia

**4.1.2.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**

**TABLA 79 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HUMEDAD NATURAL) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura	97.9971	18.2508	0.18624	90.7536
Esfuerzo al límite proporcional	41.8929	9.8919	0.23610	37.9312
Coeficiente de Seguridad	-	-	-	1.60
			Esfuerzo Admisible	56.7210

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 80 CUADRO RESUMEN DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO**

COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (HUMEDAD SECA) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
Esfuerzo de rotura	101.3061	20.8987	0.20629	92.7843
Esfuerzo al límite proporcional	54.9158	9.4711	0.17250	51.0538
Coficiente de Seguridad	-	-	-	1.60
Esfuerzo Admisible				57.9902

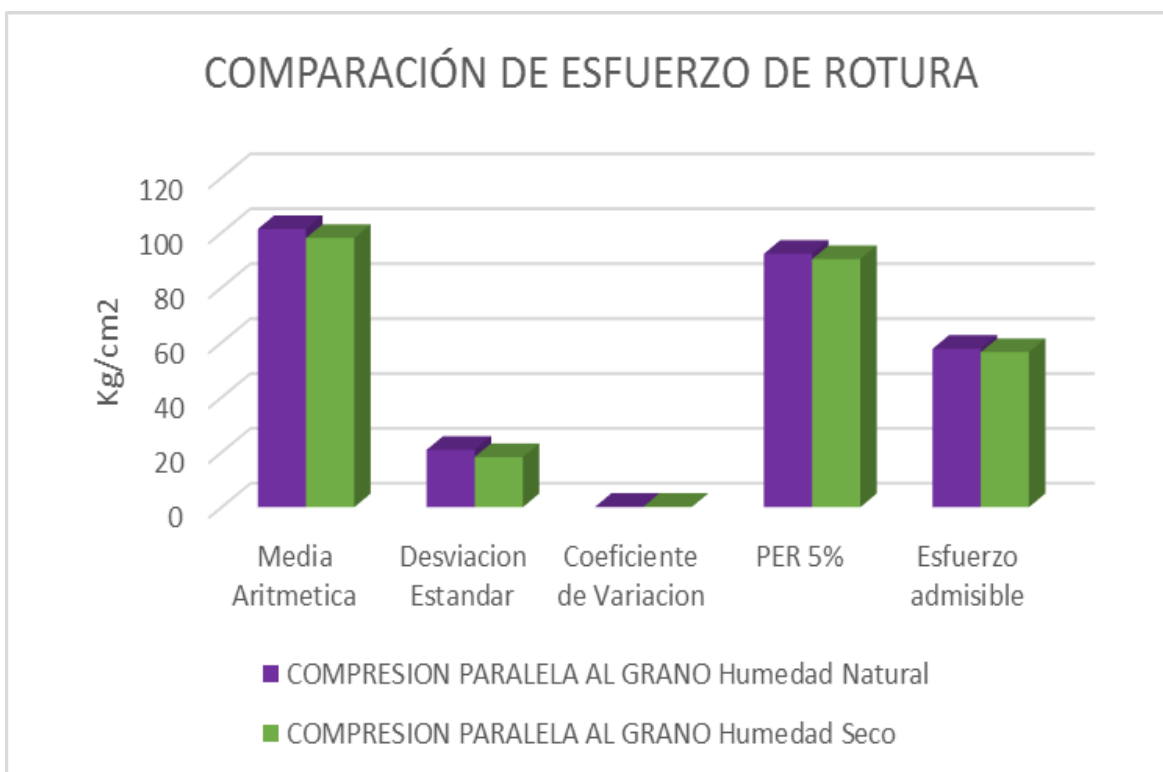
Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 81 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**

COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO				
Kg/cm2	Humedad Natural		Humedad Seco	
	Esfuerzo. Rotura	Esfuerzo. Limite Proporcional	Esfuerzo Rotura	Esfuerzo. Limite Proporcional
Media Aritmética	97.9971	41.8929	101.3061	54.9158
Desviación Estándar	18.2508	9.8919	20.8987	9.4711
Coficiente de Variación	0.18624	0.2361	0.20629	0.1725
PER 5%	90.7536	37.9312	92.7843	51.0538
Esfuerzo admisible	56.7210		57.9902	

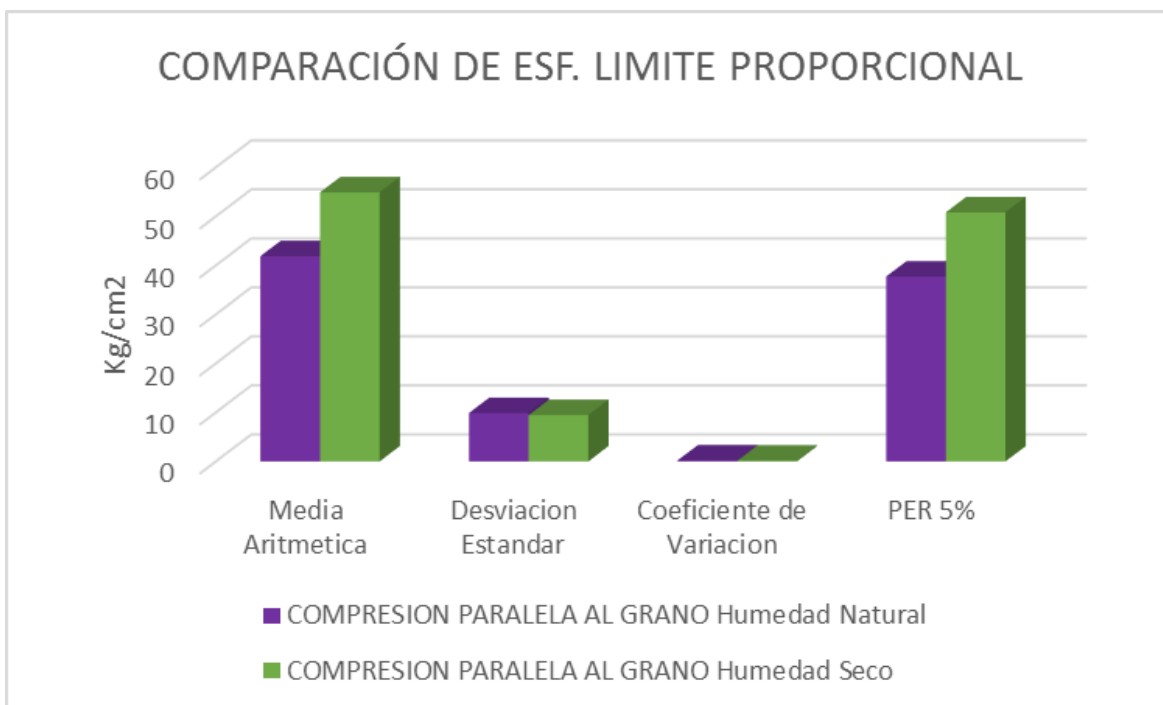
Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 82 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 83 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO**



Fuente: Elaboración Propia

**4.1.2.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA**

**TABLA 84 CUADRO RESUMEN DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

FLEXIÓN ESTÁTICA (HUMEDAD NATURAL) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
Esfuerzo de rotura	872.8974	80.1867	0.09186	841.0722
Esfuerzo al límite proporcional	548.3212	93.2879	0.17013	511.2962
Módulo de Elasticidad	31962.2654	4419.668	0.13828	30208.1473
Coeficiente. de Seguridad	-	-	-	2.00
C. de duración de carga	-	-	-	1.15
C. reducción por calidad	-	-	-	0.80
C. reducción por tamaño	-	-	-	0.90
Esfuerzo Admisible				263.2922

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 85 CUADRO RESUMEN DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECA**

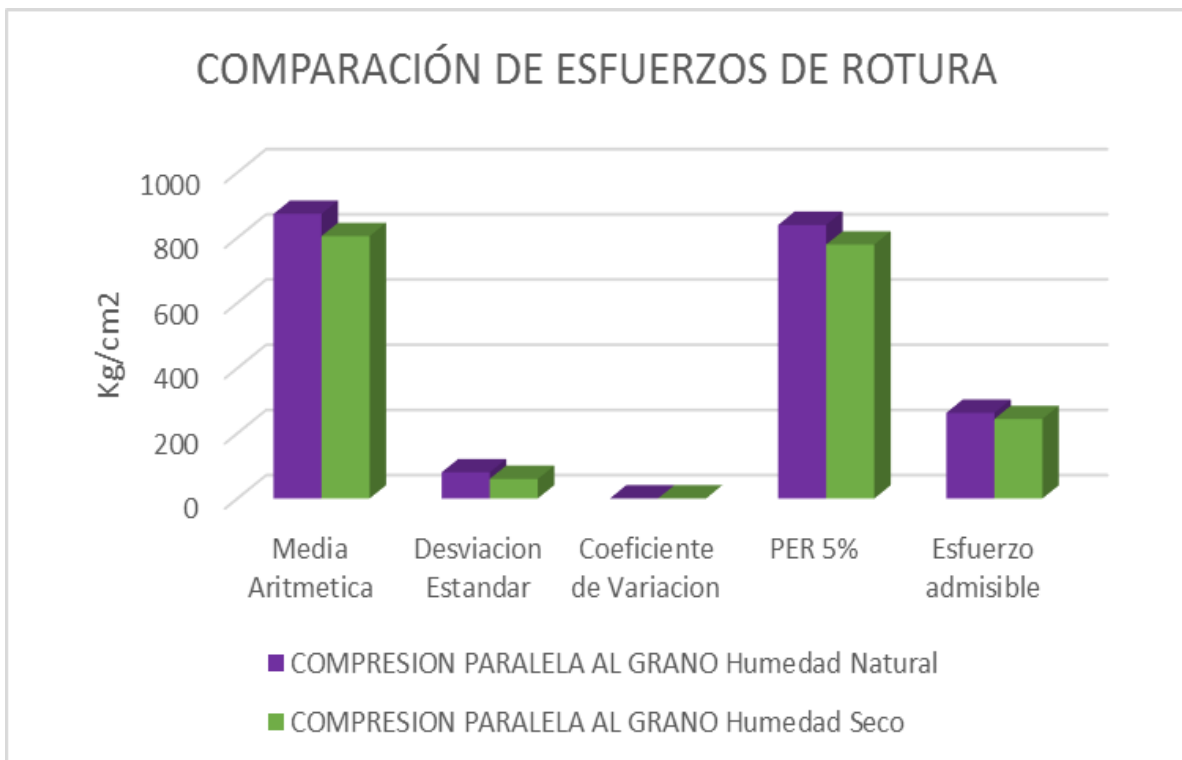
FLEXIÓN ESTÁTICA (HUMEDAD SECA) RESUMEN				
	Media Aritmética	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	PER 5%
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
Esfuerzo de rotura	804.6901	59.9734	0.07453	780.2351
Esfuerzo al límite proporcional	489.3443	61.8622	0.12642	464.1191
Módulo de Elasticidad	26086.4279	5004.5109	0.19184	24045.7640
Coeficiente. de Seguridad	-	-	-	2.00
C. de duración de carga	-	-	-	1.15
C. reducción por calidad	-	-	-	0.80
C. reducción por tamaño	-	-	-	0.90
Esfuerzo Admisible				244.2475

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 86 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

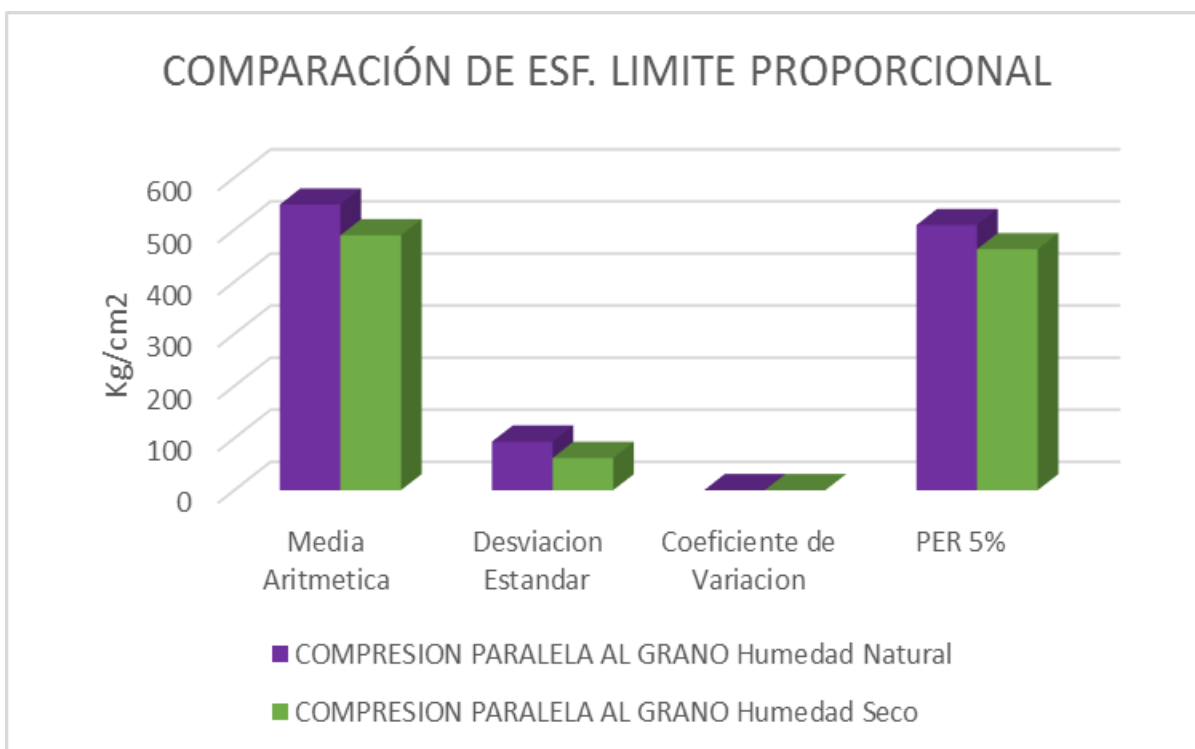
FLEXIÓN ESTÁTICA						
Kg/cm2	Humedad Natural			Humedad Seco		
	Esfuerzo Rotura	Esfuerzo. Lim. Prop	M.O.E.	Esfuerzo Rotura	Esfuerzo. Lim. Prop	M.O.E.
Media Aritmética	872.8974	548.3212	31962.265	804.6901	489.3443	26086.4279
Desviación Estándar	80.1867	93.2879	4419.668	59.9734	61.8622	5004.5109
Coefficiente de Variación	0.09186	0.17013	0.13828	0.07453	0.12642	0.19184
PER 5%	841.0722	511.2962	30208.147	780.2351	464.1191	24045.764
Esfuerzo admisible	263.2922			244.2475		

TABLA 87 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS DE ROTURA DE FLEXIÓN ESTÁTICA



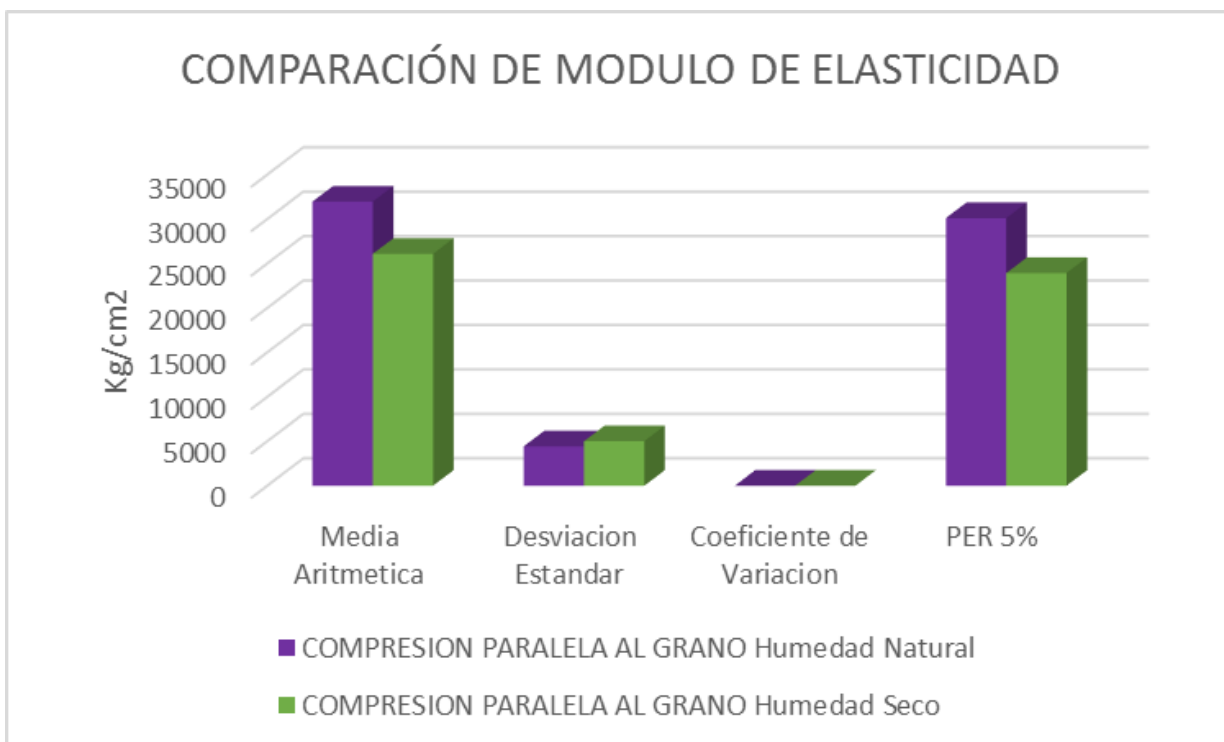
Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 88 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESFUERZOS AL LÍMITE PROPORCIONAL DE FLEXIÓN ESTÁTICA**



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 89 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE FLEXIÓN ESTÁTICA**



Fuente: Elaboración Propia



## CAPITULO V: DISCUSIÓN

### DISCUSIÓN

#### 1. ¿CUÁLES SON LOS VALORES DE PROMEDIO ARITMÉTICO OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DESARROLLADOS EN LA INVESTIGACIÓN?

Los valores de promedio aritmético que se obtuvieron por ensayo fueron los siguientes:

- Densidad básica: se obtuvo un promedio aritmético de 0.7468 g/cm<sup>3</sup> de 39 probetas.
- Cizallamiento paralelo al grano: se obtuvo un promedio aritmético de 57.5302 kg/cm<sup>2</sup> para 20 probetas con contenido de humedad natural y 72.1084 kg/cm<sup>2</sup> para 20 probetas con contenido de humedad seco.
- Compresión axial o paralela al grano: se obtuvo un promedio aritmético de 268.1063 kg/cm<sup>2</sup> para 18 probetas con contenido de humedad natural y 305.8610 kg/cm<sup>2</sup> para 19 probetas con contenido de humedad seco.
- Compresión perpendicular al grano: se obtuvo un promedio aritmético de 97.9971 kg/cm<sup>2</sup> para 20 probetas con contenido de humedad natural y 101.3061 kg/cm<sup>2</sup> para 19 probetas con contenido de humedad seco.
- Flexión estática: se obtuvo un promedio aritmético de 872.8974 kg/cm<sup>2</sup> para 20 probetas con contenido de humedad natural y 804.6901 kg/cm<sup>2</sup> para 19 probetas con contenido de humedad seco.

#### 2. DE LA VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA RESPECTO AL COEFICIENTE DE VARIACIÓN ¿PARA QUÉ ENSAYOS LOS DATOS OBTENIDOS TUVIERON MAYOR VARIABILIDAD O DISPERSIÓN?

La mayor variabilidad o dispersión respecto al coeficiente de variación se encontró en los ensayos de COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO, específicamente en las probetas con contenido de humedad natural, en las cuales los coeficientes de variación fueron: MOR=15,13%, ELP=19,12%, MOE=94,04%, y en el ensayo de COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO, donde los coeficientes de variación para probetas húmedas fueron: MOR=18.62%, ELP=23.61%, y para probetas secas: MOR=20.63%, ELP=17.25%, observándose así que la dispersión más grande se observa en





los 94,04% del Módulo de Elasticidad para compresión paralela en probetas húmedas y concluyendo así que son los datos menos homogéneos de la tesis.

### **3. DE LA VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA RESPECTO AL COEFICIENTE DE VARIACIÓN ¿PARA QUÉ ENSAYOS LOS DATOS OBTENIDOS TUVIERON MENOR VARIABILIDAD O DISPERSIÓN?**

La menor variabilidad o dispersión respecto al coeficiente de variación se encontró en los ensayos de DENSIDAD BÁSICA, donde el coeficiente de variación fue de  $DB=6.86\%$ , en el ensayo de CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO específicamente en el contenido de humedad seco, en el cual el coeficiente de variación fue de  $MOR=5,13\%$ , y en el ensayo de FLEXIÓN ESTÁTICA solamente para el módulo de rotura, en el cual en el caso de probetas húmedas fue de  $MOR=9.19\%$  y en las probetas secas fue de  $MOR=7.45\%$ , observándose así que todos estos datos son homogéneos ya que están más cerca al 0%.

### **4. ¿POR QUÉ RAZONES SE CONSIDERÓ 5% COMO LIMITE DE EXCLUSIÓN?**

El manual de maderas para el grupo andino (1987) propone que el valor de exclusión sea de 5%, eso quiere decir que se espera que de toda la población existente de dicha especie solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor, aun que en otros países se toma un límite más pequeño como 2.5%, para obtener el percentil 5% en nuestra tesis se utilizó la función probabilística (t) Student.

### **5. ¿CUALES SON LOS APORTES DE LA INVESTIGACIÓN?**

- La caracterización técnica del Eucalipto Globulus para efectos de diseño.
- Establecer un procedimiento normado paso a paso para la identificación de las características Físico-Mecánicas, desde la extracción de muestras hasta su agrupamiento.
- Se obtuvo las características técnicas a fin de regular la sobre explotación de otras especies arbóreas en nuestra región.



- Tener un material de construcción que cumpla con lo prescrito en la NTP E.010, y al mismo tiempo sea económico y no afecte al medio ambiente.
- Se donó un medidor de humedad electrónico a la Universidad Andina del Cusco.

## 6. ¿QUE VALIDACIONES TEÓRICAS SE HA IDENTIFICADO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN?

En la presente investigación tuvo una validación teórica, con forme a lo incluido en el marco teórico **2.2.4.2 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**, que nos dice que entre más contenido de humedad presente una madera tendrá mucho menor resistencia, esto lo logramos comprobar en los ensayos de: Cizallamiento paralelo al grano, Compresión axial o paralela al grano y Compresión perpendicular, donde los valores de las probetas secas fueron mucho mayores que las probetas húmedas, sin embargo no se logró demostrar esto para el ensayo de flexión estática donde las probetas con contenido de humedad natural tuvieron mayor resistencia que la secas.

## 7. ¿POR QUÉ SE RATIFICO LA HIPÓTESIS GENERAL QUE DICE “LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS DE LA ZONA DE PARURO-CUSCO EN SU CONTENIDO DE HUMEDAD SECO Y HUMEDAD NATURAL CLASIFICARAN PARA SU USO ESTRUCTURAL”?

Por qué los valores obtenidos en los ensayos de: Densidad básica, Cizallamiento paralelo al grano, Compresión axial o paralela al grano, Compresión perpendicular al grano y Flexión estática, después de analizarlos estadísticamente y aplicarles los coeficientes de seguridad respectivos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.010, dieron como resultado esfuerzos admisibles los cuales catalogan a la madera Eucalipto Globulus como óptima para ser utilizada estructuralmente tanto para su contenido de humedad seco como para su contenido de humedad natural.

**8. ¿EL AGRUPAMIENTO PROVISIONAL DE LA MADERA BASADO EN SU DENSIDAD BÁSICA SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA E.010, SE RATIFICO AL FINAL DE LA INVESTIGACIÓN?**

El agrupamiento provisional de la madera según la Norma Técnica Peruana E.010 basado en la densidad básica dio como grupo provisional el grupo A, esto se ratificó al final de la investigación ya que los esfuerzos admisibles encontrados en el Eucalipto Globulus lo clasifíco en el grupo A.

**9. ¿CUÁLES FUERON LOS ESFUERZOS ADMISIBLES DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO ENCONTRADOS EN LA INVESTIGACIÓN?**

Según la Norma Técnica Peruana E.010, en el Capítulo 1 Artículo 11 Inciso 11.4, dicta que los valores de esfuerzos admisibles pertinentes a TRACCIÓN PARALELA serán considerados como el 70% de los esfuerzos admisibles correspondientes a flexión estática, de acuerdo a esto tenemos que el esfuerzo admisible de TRACCIÓN PARALELA para contenido de humedad natural fue de  $f_t=184.3045$  kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para el contenido de humedad seco fue de  $f_t=170.9733$  kg/cm<sup>2</sup>.

**10. ¿CUÁLES FUERON LOS GRUPOS EN LO QUE SE CLASIFICO EL EUCALIPTO GLOBULUS SEGÚN LOS RESULTADOS DE ESFUERZOS ADMISIBLES?**

El Eucalipto Globulus según su contenido de humedad natural se clasifíco en:

- Cizallamiento Párelo al Grano 13.6173 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "B".
- Compresión Axial o Paralela al Grano 125.4932 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "B".
- Compresión Perpendicular al Grano 56.7210 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Flexión Estática 263.2922 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Tracción Paralela 184.9733 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Módulo de Elasticidad 30208.147 kg/cm<sup>2</sup> grupo "C"

Mientras que el Eucalipto Globulus según su contenido de humedad seco se clasifíco en:

- Cizallamiento Párelo al Grano 17.6603 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".



- Compresión Axial o Paralela al Grano 144.8210 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "B".
- Compresión Perpendicular al Grano 57.9902 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Flexión Estática 244.2475 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Tracción Paralela 170.9733 kg/cm<sup>2</sup>, grupo "A".
- Módulo de elasticidad 24045.764 kg/cm<sup>2</sup> "C"

De acuerdo a los datos obtenidos se puede deducir que el Eucalipto Globulus con contenido de humedad natural se clasifico en el Grupo "B", mientras que el Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco se clasifico en el Grupo "A", cabe resaltar que el dato de esfuerzo admisible de compresión paralela al grano en el contenido de humedad seco no clasifico en el grupo A solo por 1 kg/cm<sup>2</sup>.



## GLOSARIO

**ISOTRÓPICO:** Que tiene propiedades que son idénticas en todas direcciones.

**ANISOTRÓPICO:** Que tiene propiedades diferentes en diferentes ejes.

**LIGNINA:** Es una sustancia que aparece en los tejidos leñosos de los vegetales y que mantiene unidas las fibras de celulosa que los componen, la lignina constituye el 25% de la madera.

**CONÍFEROS:** Árboles con estructuras reproductivas denominadas conos o más comúnmente piñas. Las plantas que forman esta colección son las especies forestales dominantes en los climas fríos y de altas montañas.

**EUCALIPTO GLOBULUS:** Especie arbórea de la familia de las mirtáceas, originaria del sureste de Australia y Tasmania. Especie de mayor tamaño que se puede encontrar en las regiones de clima frío en los Andes tropicales

**PROPIEDADES FÍSICAS:** Son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Son aquellas propiedades de los sólidos que se manifiestan cuando aplicamos una fuerza, se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.

**MADERA SECA:** Es aquella cuyo contenido de humedad es menor o igual que el correspondiente al equilibrio higroscópico.

**MADERA HÚMEDA:** Es aquella cuyo contenido de humedad es superior al del equilibrio higroscópico.

**MADERA CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL:** Madera que no ha sufrido ningún proceso de secado.

**MADERA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO:** Madera que ha sido secado por algún proceso más o menos controlado.



**MADERA ASERRADA:** Piezas de madera maciza obtenidas por aserrado del árbol, generalmente escuadradas, es decir con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas.

**HIGROSCÓPICO:** Sustancias que cambian como un resultado directo de atraer y absorber agua.

**MATERIAL HOMOGÉNEO:** Es el que presenta una composición uniforme, en la cual no se pueden distinguir a simple vista sus componentes; en muchos casos, no se distinguen ni con instrumentos como el microscopio.

**XILEMA:** Tejido especializado en la conducción de agua y minerales desde la raíz al resto de la planta.

**DENDROCRONOLOGÍA:** Parte de la botánica que establece la edad de un árbol y los cambios climáticos a los que ha estado sometido mediante la observación de los anillos de crecimiento anual.

**MADERA VERDE:** Madera con un contenido de humedad por encima del punto de saturación de fibra.

**ACANALADURA:** O abarquillado es un alabeo en dirección transversal a las fibras.

**ENCORVADURA:** O curvatura lateral corresponde al alabeo de los cantos en el sentido de las fibras.

**TORCEDURA:** O revirado es el alabeo helicoidal en dirección longitudinal y transversal de las fibras.

**HEMICELULOSAS:** Cualquier elemento de un grupo de polisacáridos que constituyen la parte principal de los componentes esqueléticos de las paredes celulares de las plantas y se parecen a la celulosa.

**HUMEDAD DE EQUILIBRIO:** Se denomina, al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente.



**PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA:** Estado de humedad de la madera, en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas de agua. Oscila entre 28 y el 40% según las especies, aunque a efectos prácticos se puede tomar el 30%.

**MADERA ANHIDRA:** Es aquella en la que se ha eliminado todo su contenido de humedad

**DENSIDAD BÁSICA:** Es el cociente entre el peso de la madera anhidra y el volumen en estado saturado correspondiente.

**LÍMITE ELÁSTICO:** Se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica.

**ESFUERZOS BÁSICOS:** Es el esfuerzo mínimo obtenido de ensayos de propiedades mecánicas que sirven de base para la determinación de esfuerzos admisibles.

**ESFUERZOS ADMISIBLES:** Son los esfuerzos de diseño del material para cargas de servicio, definidos para los grupos estructurales.

**COMPRESIÓN PERPENDICULAR ( $f_{c\perp}$ ):** Es la resistencia de la madera a una carga en dirección perpendicular a las fibras.

**COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA ( $f_{c//}$ ):** Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras.

**FLEXIÓN ESTÁTICA ( $f_m$ ):** Es la resistencia de la probeta a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz.

**CIZALLAMIENTO PARALELO ( $f_v$ ):** La resistencia es paralela a las fibras y produce un plano de falla, tangente a los anillos de crecimiento.

**TRACCIÓN PARALELA ( $f_t$ ):** Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras.

**MODULO DE ELASTICIDAD (E):** Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria, es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.



**BLOQUE:** Es la superficie mínima que constituye el centro de actividad, del cual serán seleccionados los arboles

**TROZA:** Es la parte del fuste de longitud variable y libre de ramas obtenida por corte transversal.

**VIGUETA:** Es la parte seleccionada de la troza de sección suficiente a partir de la cual se preparan las probetas.

**PROBETA:** Es la pieza de dimensiones y formas especificadas que se preparan a partir de la vigueta seleccionada para el estudio de las propiedades de la madera.





## CONCLUSIONES

### Conclusión Hipótesis General

Se logró demostrar la hipótesis general que refiere **“Las propiedades físico-mecánicas de la madera eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural la clasificaran como estructural de acuerdo a la norma técnica peruana E.010”**, debido a que los resultados de los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas tanto en el contenido de humedad seco como en el contenido de humedad natural, alcanzaron los valores de esfuerzos admisibles prescritos por la norma técnica peruana E.010, clasificándola como una madera de uso estructural.

### Conclusión N° 1

Se logró demostrar la sub hipótesis N° 1 que refiere **“Las propiedades físicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural clasificaran para su uso estructural”**, debido a que los resultados indican que la densidad básica en nuestra madera a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), dieron como resultado  $db = 0.7322 \text{ g/cm}^3$ , alcanzado los valores presticos en la norma técnica peruana E.010 para ser clasificada como estructural.

### Conclusión N° 2

Se logró demostrar la sub hipótesis N° 2 que refiere **“Las propiedades mecánicas del eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural clasificaran para su uso estructural”** debido a que los resultados de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas en nuestra madera a un percentil del 5%, que equivale a un límite de confianza correspondiente al 95% de la función de Student (t), indican que, para cizallamiento paralelo al grano en el de contenido de humedad natural alcanzo los  $f_v = 13.6173 \text{ kg/cm}^2$  y para el contenido de humedad seco alcanzo los  $f_v = 17.6603 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que para compresión paralela al grano en el de contenido de humedad natural alcanzo los  $f_c \perp = 125.4932 \text{ kg/cm}^2$  y para el contenido de humedad seco alcanzo los  $f_c \perp = 144.8210 \text{ kg/cm}^2$ , en el



caso de compresión perpendicular al grano en el contenido de humedad natural alcanzo los  $f_{c\perp}=56.7210$  kg/cm<sup>2</sup> y para el contenido de humedad seco alcanzo los  $f_{c\perp}=57.9902$  kg/cm<sup>2</sup>, y por último en flexión estática en el contenido de humedad natural alcanzo los  $f_m=263.2922$  kg/cm<sup>2</sup> y para el contenido de humedad seco alcanzo los  $f_m=244.2475$  kg/cm<sup>2</sup>, en lo que respecta al módulo de elasticidad se obtuvo un  $MOE=30208.147$  kg/cm<sup>2</sup>, logrando así, en los dos contenidos de humedad, obtener los valores de esfuerzos admisibles prescritos en la norma técnica peruana E.010 para ser clasificada como estructural.

### Conclusión N°3

Se logró demostrar parcialmente la sub hipótesis N° 3 que refiere **“El eucalipto Globulus de la zona de Paruro-Cusco en su contenido de humedad seco y humedad natural están clasificados en el grupo A según la norma técnica peruana E.010.”**, ya que el Eucalipto Globulus con contenido de humedad seco sobrepaso los valores de esfuerzos admisibles requeridos en la **Tabla 3 Esfuerzos Admisibles** lo cual lo clasifica en el grupo A, mientras que el Eucalipto Globulus con contenido de humedad natural solo alcanzo a sobrepasar los valores de esfuerzos admisibles para flexión estática y compresión perpendicular, y en el caso de cizallamiento y compresión paralela no llego alcanzar dichos esfuerzos admisibles, por lo cual lo clasifica en el grupo B.



## RECOMENDACIONES

### RECOMENDACIONES PARA NUEVAS INVESTIGACIONES

**RECOMENDACIÓN N° 1:** Se recomienda la presente tesis para tener una guía de procedimientos de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físico-mecánicas de una madera.

**RECOMENDACIÓN N° 2:** Se recomienda preservar las trozas de madera en un ambiente fresco donde no haya mucha humedad, no llegue el sol y cubrirlas las trozas con plástico, antes de cortar las probetas necesarias.

**RECOMENDACIÓN N° 3:** Se recomienda secar la madera a una temperatura no mayor de 103 °C para así evitar abarquillamientos y resquebrajamientos en las probetas.

**RECOMENDACIÓN N° 4:** Se recomienda volver a tomar medidas de cada probeta antes de ser ensayada para poder cerciorarse de que cumplan con lo establecido por las Normas Técnicas Peruanas.

**RECOMENDACIÓN N° 5:** Se recomienda evaluar la resistencia a la dureza de la madera Eucalipto Globulus que no se encuentra Normalizada dentro de las Normas Técnicas Peruanas para madera.

**RECOMENDACIÓN N° 6:** Se recomienda hacer un estudio de la madera Eucalipto Globulus adicionada con algún tipo de aditivo o curador que mejore sus características físicas.

**RECOMENDACIÓN N° 7:** Se recomienda hacer un estudio de las características físico-mecánicas de otras especies arbóreas abundantes en la región del Cusco y su respectiva catalogación botánica.

### RECOMENDACIONES PARA LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

**RECOMENDACIÓN N° 8:** Se recomienda la adquisición de las normas técnicas peruanas para madera en caso de realizarse cualquier tipo de estudios sobre maderas referidas a la construcción.



**RECOMENDACIÓN N° 9:** Se recomienda a la Universidad Andina del Cusco la adquisición de equipos para compresión y flexión capaces de registrar automáticamente la curva esfuerzo-deformación, equipos que puedan medir las capacidades acústicas de los materiales, equipos para estudiar las propiedades térmicas y eléctricas de los materiales, así también se recomienda la adquisición de deflectómetros y compresómetros con sus respectivos aditamentos.

**RECOMENDACIÓN N° 10:** Se recomienda la compra del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino PADT-REFORT como base fundamental para cualquier tipo de estudio de maderas.

**RECOMENDACIÓN N° 11:** Se recomienda la compra del Manual de la Corma de Construcción en Madera-Chile, como base teórica fundamental para cualquier investigación en madera.

**RECOMENDACIÓN N° 12:** Se recomienda a la Universidad Andina del Cusco la adquisición de la normativa para madera brindada por INACAL.

**REFERENCIAS**

Ananías, (1993), "Apuntes de Anatomía de la madera", Universidad del Bío-Bío, Departamento de ingeniería en maderas, facultad de ingeniería.

Comisión Panamericana De Normas Técnicas. (1972). Maderas: Métodos para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas. Esquema 1º de Norma COPANT 30:1-012. 8 p.

Díaz-Vaz, J; Cuevas, H. (1982). Ensayos mecánicos de la madera. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias Forestales. 44p.

Fritz, (2004), "Manual de la Corma de construcción en madera", Capitulo 1

Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT (1984). Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino. Lima, Sección 1, Capitulo 1 1-21 p.

Karsulovic, J. (1982). Propiedades mecánicas de la madera. Santiago, Chile. Editorial Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. 101p.

Kollmann, F. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Física de la madera. Teoría de la impregnación de maderas a presión, capítulo 3.3.5. 675 p.

Lages Elon [2000], La matemática de la Enseñanza media

León, W. y Espinoza, N. (2001). Anatomía de la Madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico. Mérida-Venezuela. 396 p.

Mangium, A. (1994). Comportamiento Potencial en Panamá. Panamá.

Norma E.010 (2006). Estructuras: Norma Técnica E.010. Lima: El Peruano. 1-5 p.

Norma Técnica Peruana 251.008 (2015), Selección y colección de muestras.

Norma Técnica Peruana 251.009 (2015), Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos.



Norma Técnica Peruana 251.010 (2015), Métodos para determinar el contenido de humedad.

Norma Técnica Peruana 251.011 (2015), Métodos para determinar la densidad.

Norma Técnica Peruana 251.013 (2015), Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano.

Norma Técnica Peruana 251.014 (2015), Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.

Norma Técnica Peruana 251.016 (2015), Método para determinar la compresión perpendicular al grano.

Norma Técnica Peruana 251.017 (2004), Método para determinar la flexión estática.

Pérez., A. (1986). Apuntes de anatomía de la madera Universidad Nacional de los Andrés. Mérida Venezuela.

Sales de Lopez (2005). Estadística del conteo Radiactivo. Tucumán: UNT.

SAMPIERI. (1991). Metodología de la Investigación.

SPIEGEL, M. R. 1973. Estadística, México, Libros McGRAW-HILL DE México.

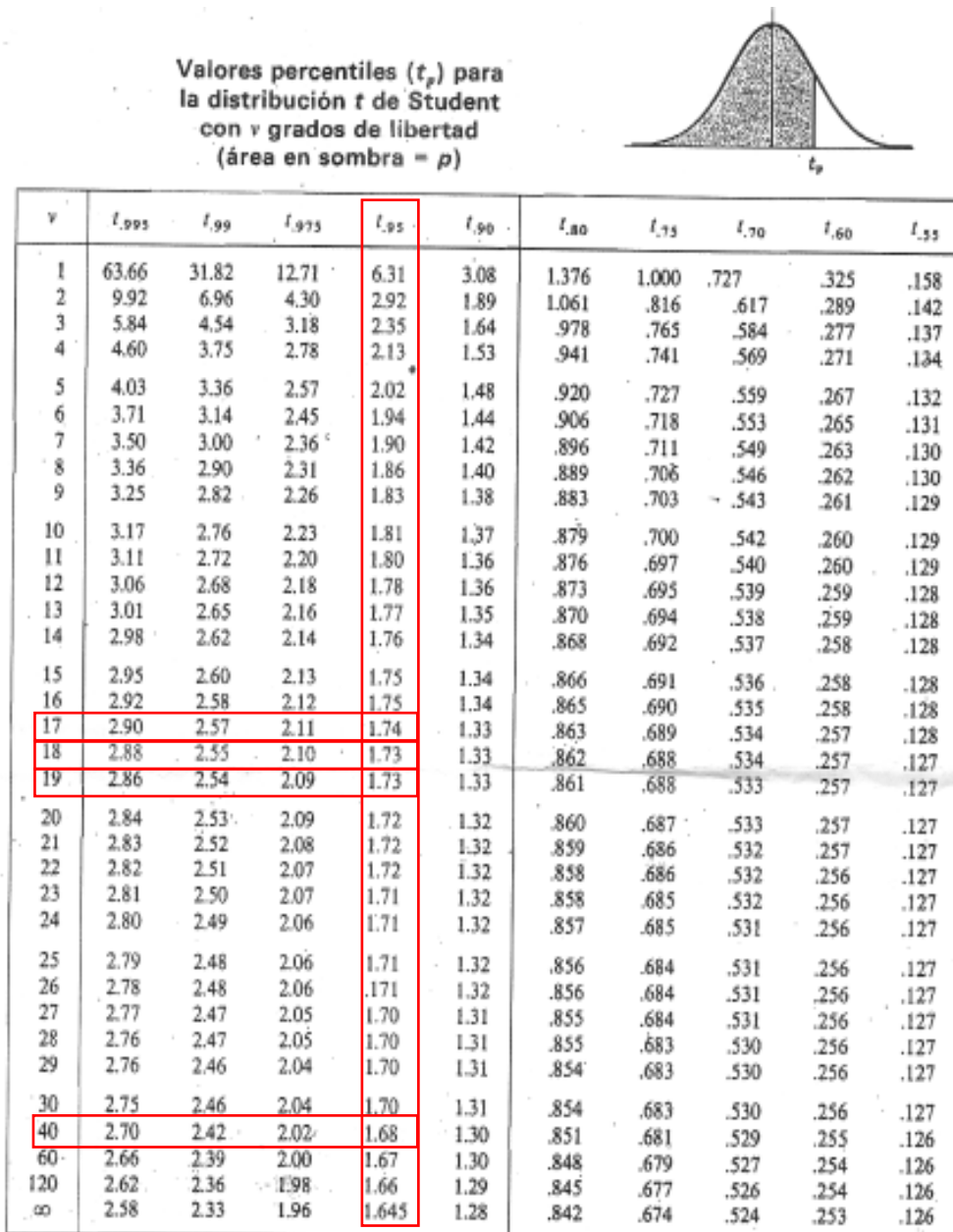
Singer Ferdinand L., Pytel Andrew (1994). Resistencia de Materiales. New York: Oxford University Press.

Voigt A. (2006). Anatomia comparada do lenho da especie.

Wavedeck, S. (2008). Madera. Toronto Ontario: West 8.

ANEXOS

FIGURA 57 TABLA DE STUDENT (t)



Fuente: Statistical Tables for Biological, R. A. Fisher y F. Yates

$$v = N (\text{número de datos}) - 1$$

ENSAYO	T.095
DENSIDAD BÁSICA	1.69
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	1.73
CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO	1.73
COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	1.74
COMPRESIÓN PARALELO AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO	1.73
COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	1.73
COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO	1.73
FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	1.73
FLEXIÓN ESTÁTICA CONTENIDO DE HUMEDAD SECO	1.73

FIGURA 58 SELECCIÓN DEL BLOQUE PARA LA EXTRACCIÓN DE ARBOLES



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 59 SELECCIÓN Y RECONOCIENDO DE LA ZONA DE PARURO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas



FIGURA 60 SELECCIÓN DE ARBOLES CON DIÁMETROS APLICADOS AL CRITERIOS DE LA NTP E.010. DEL EUCALIPTO GLOBULUS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 61 CORTE DE EUCALIPTO GLOBULUS SELECCIONADO



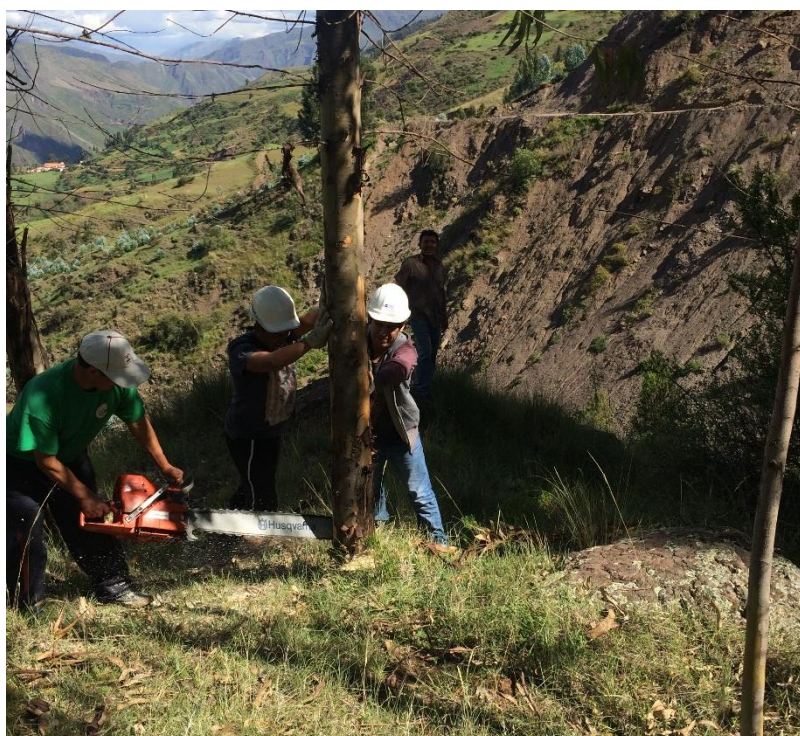
Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 62 MEDICIÓN DE PARTES DEL ÁRBOL A SER TROZADAS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 63 CORTE Y EXTRACCIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 64 CORTE Y EXTRACCIÓN DEL EUCALIPTO GLOBULUS EN DIFERENTES ZONAS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 65 TRASLADO DEL EUCALIPTO GLOBULUS CORTADOS Y TROZADOS



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 66 TRASLADO DE LAS TROZAS PARA SER LLEVADAS AL CUSCO



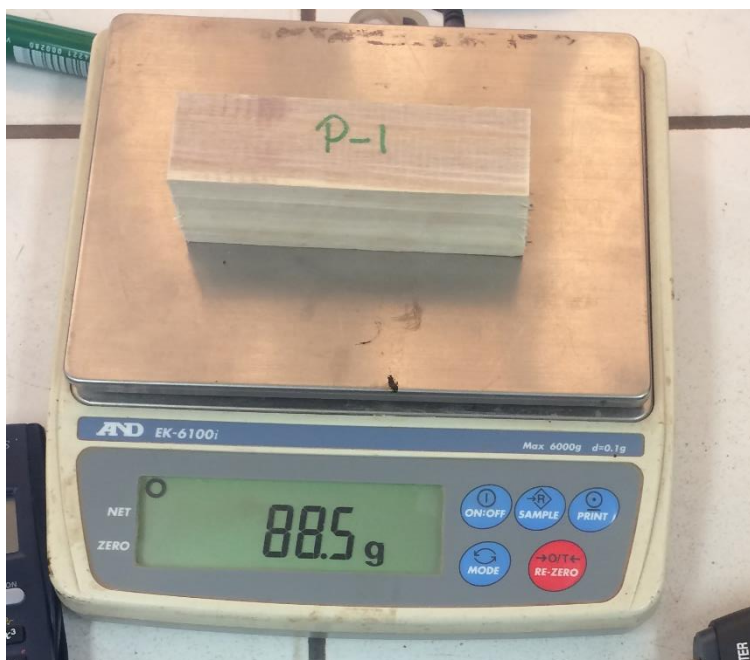
Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 67 TROZAS SELECCIONADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE PROBETAS



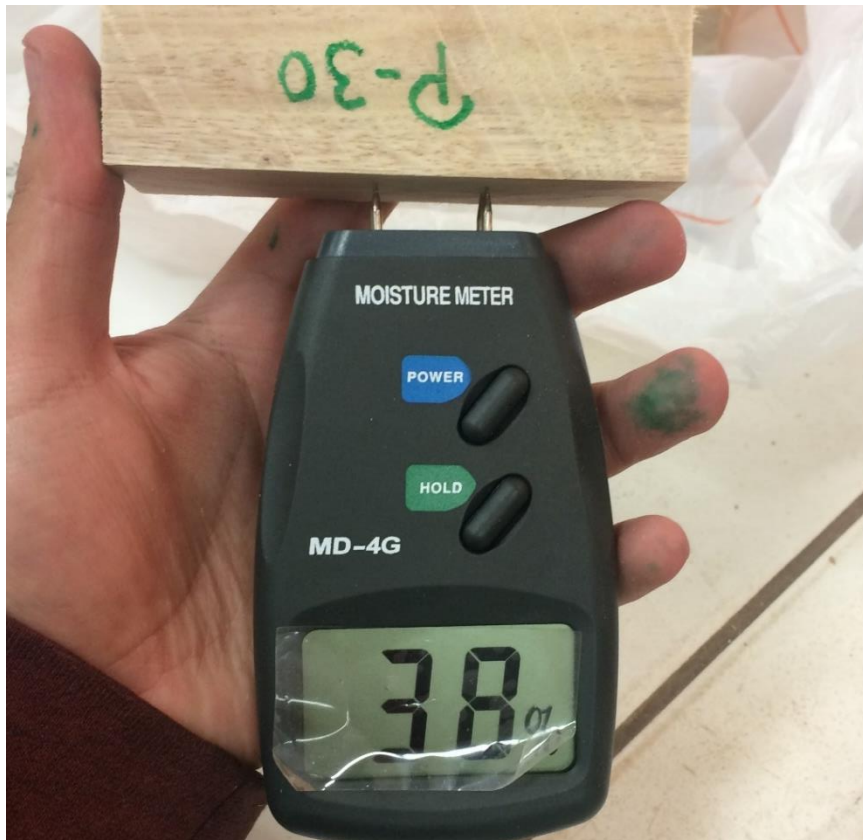
Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 68 PESO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DENSIDAD BASICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 69 MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE PROBETA DE DENSIDAD BASICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 70 PROBETAS DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR LISTAS PARA SER SECADAS AL HORNO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 71 PROBETAS SECADAS EN EL HORNO A 110°C



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 72 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO E INSTALACIÓN DEL RELOJ COMPARADOR



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 73 PROBETAS SOMETIDAS AL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 74 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

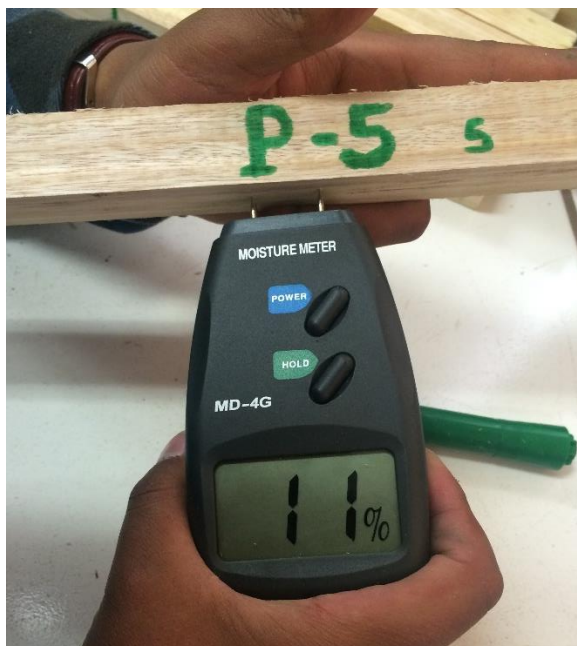
FIGURA 75 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO CONTENIDO DE HUMEDAD SECO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas



FIGURA 76 MEDICIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



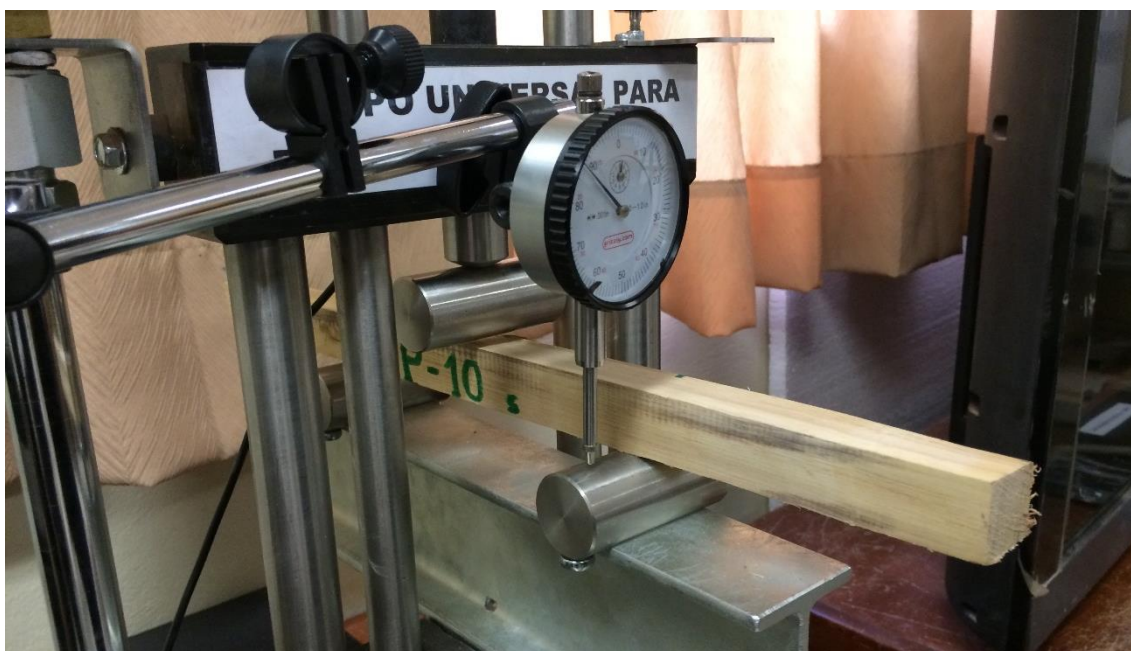
Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 77 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 78 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PROBETA NUMERO 10 SECA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 79 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 80 PROBETA NUMERO 15 HÚMEDA ENSAYADA A FLEXIÓN ESTÁTICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 81 PROBETAS DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO SECADAS AL HORNO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 82 PESADO DE PROBETA PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 83 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE PROBETAS PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 84 PROBETAS PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 85 PROBETAS CON CONTENIDO DE HUMEDAD SECO ENSAYO DE CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 86 PROBETA ENSAYADAS A CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 87 FALLO DE LA PROBETA N° 10 ENSAYADA A CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 88 ENSAYO DE CIZALLAMIENTO AL GRANO, CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL INGENIERO ENCARGADO DE LABORATORIO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 89 SECADO AL HORNO DE PROBETAS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 90 MEDICIÓN DE HUMEDAD DE LAS PROBETAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 91 PROBETA ENSAYADA A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas



FIGURA 92 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS PROBETAS ENSAYADOS A COMPRESIÓN PARALELA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 93 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS PROBETAS DE DENSIDAD BÁSICA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 94 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LA FALLA EN LA PROBETA DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas

FIGURA 95 ASESORA DE TESIS VERIFICANDO LAS FALLAS PRODUCIDAS EN LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN PARALELA



Fuente: Registro Fotográfico Tesistas



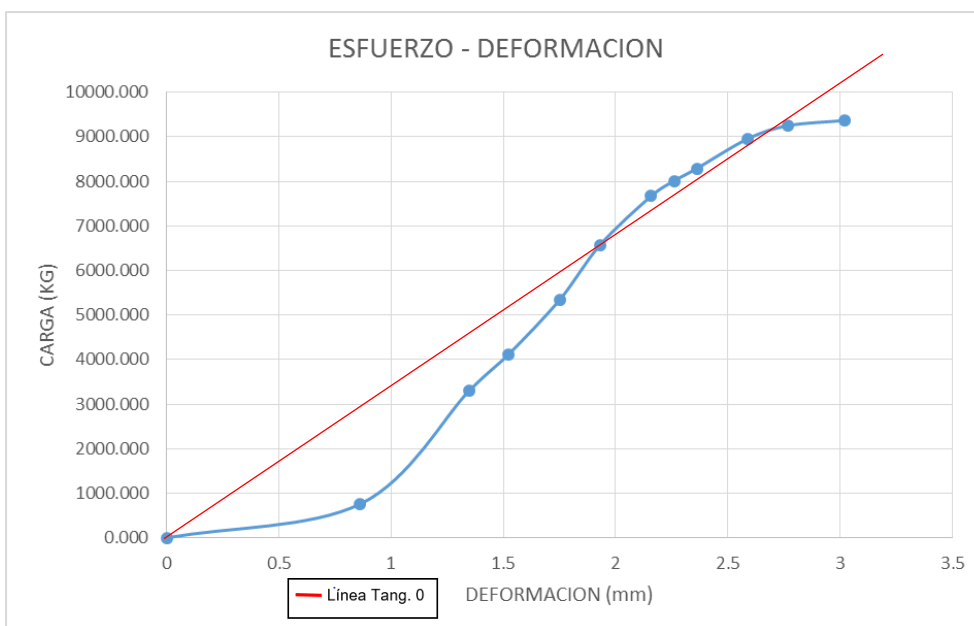
Probeta N-1

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	1-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.05
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	6570
P (kg)	9370
DI (cm)	0.19304

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	374.8000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	262.8000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27295.5864

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.8636	760.000
3	1.3462	3290.000
4	1.524	4120.000
5	1.7526	5350.000
6	1.9304	6570.000
7	2.159	7670.000
8	2.2606	8010.000
9	2.3622	8290.000
10	2.5908	8960.000
11	2.7686	9250.000
12	3.0226	9370.000



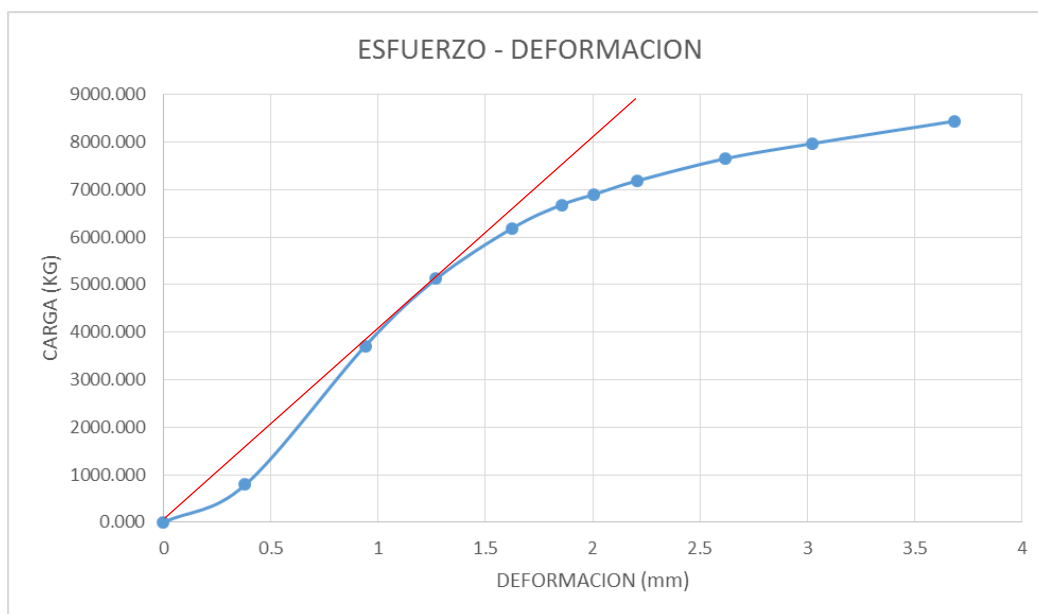
**Probeta N-2**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	2-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	5120
P (kg)	8440
DI (cm)	0.127

<b>CÁLCULOS NUMÉRICOS</b>	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	337.6000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	204.8000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	32251.9685

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.381	790.000
3	0.9398	3710.000
4	1.27	5120.000
5	1.6256	6190.000
6	1.8542	6680.000
7	2.0066	6900.000
8	2.2098	7190.000
9	2.6162	7650.000
10	3.0226	7970.000
11	3.683	8440.000



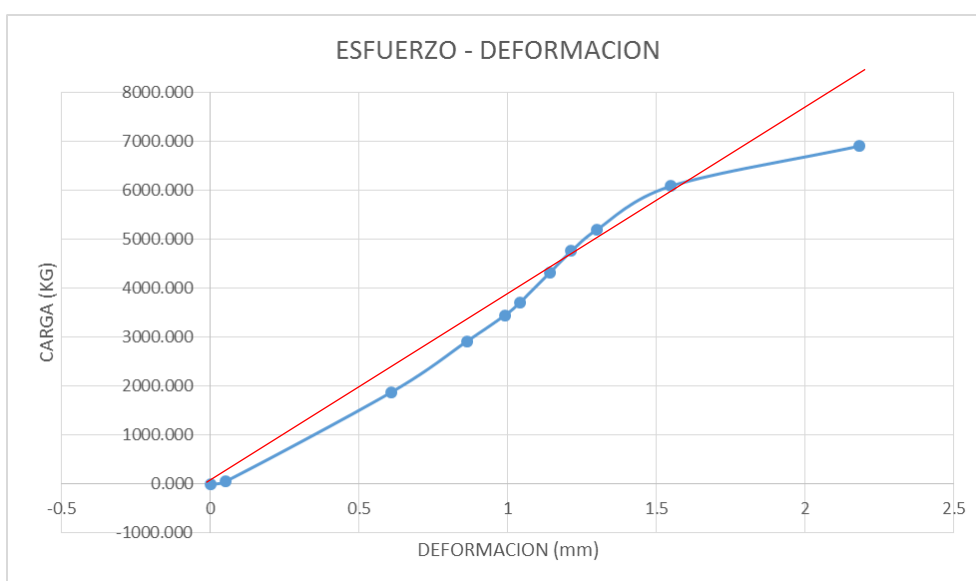
**Probeta N-3**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	3-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.08
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P'(kg)	4330
P (kg)	7010
DI (cm)	0.1143

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	280.4000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	173.2000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	30427.4366

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.0508	50.000
3	0.6096	1880.000
4	0.8636	2920.000
5	0.9906	3450.000
6	1.0414	3710.000
7	1.143	4330.000
8	1.21412	4760.000
9	1.30048	5201.000
10	1.5494	6090.000
11	2.1844	6910.000
12	3.0988	7010.000



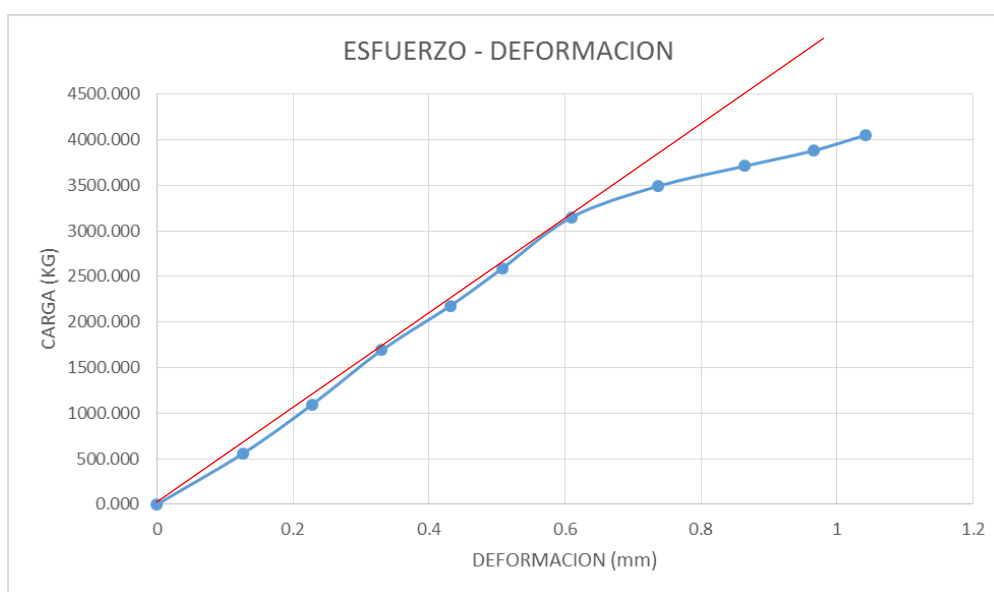
**Probeta N-4**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	4-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.08
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P'(kg)	2590
P (kg)	4080
DI (cm)	0.0508

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	163.2000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	103.6000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	40950.5512

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.127	560.000
3	0.2286	1097.000
4	0.3302	1690.000
5	0.4318	2180.000
6	0.508	2590.000
7	0.6096	3150.000
8	0.7366	3490.000
9	0.8636	3710.000
10	0.9652	3880.000
11	1.0414	4050.000
12	1.3462	4080.000





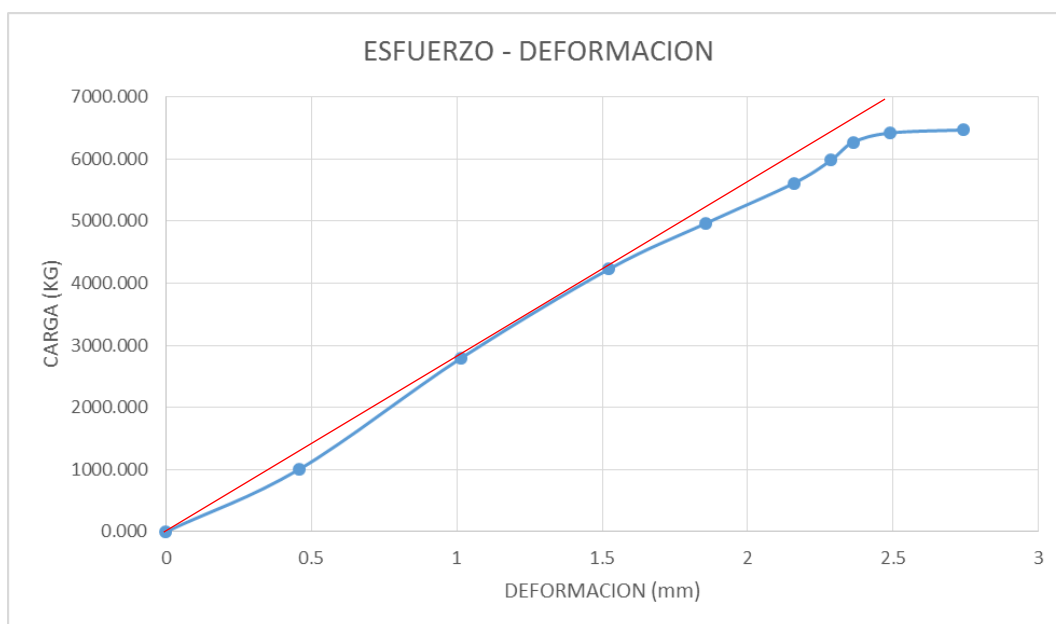
Probeta N-5

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	5-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P'(kg)	4230
P (kg)	6470
DI (cm)	0.1524

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	258.8000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	169.2000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	22315.7480

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.4572	1002.000
3	1.016	2800.000
4	1.524	4230.000
5	1.8542	4960.000
6	2.159	5612.000
7	2.286	5980.000
8	2.3622	6270.000
9	2.4892	6420.000
10	2.7432	6470.000





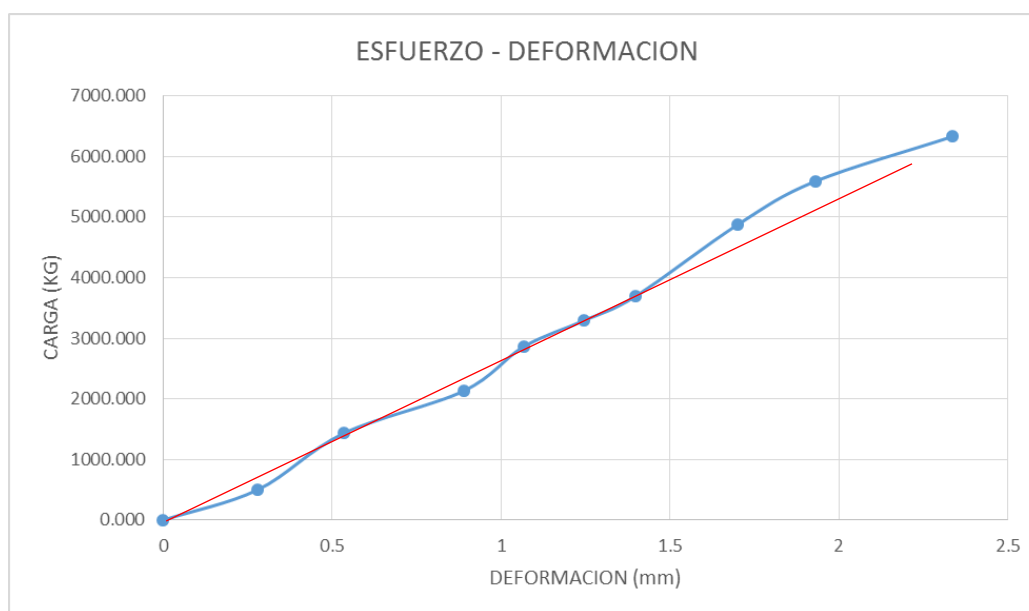
Probeta N-6

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	6-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.05
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	3690
P (kg)	6690
DI (cm)	0.01397

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	267.6000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	147.6000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	211838.2248

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	500.000
3	0.5334	1430.000
4	0.889	2130.000
5	1.0668	2860.000
6	1.2446	3290.000
7	1.397	3690.000
8	1.7018	4880.000
9	1.9304	5590.000
10	2.3368	6330.000
11	2.7686	6690.000





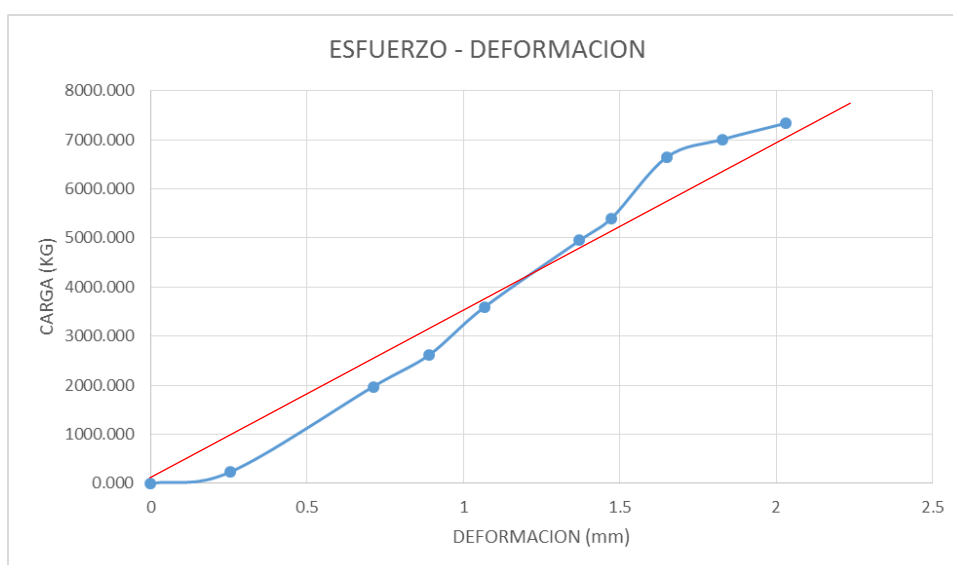
Probeta N-7

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	7-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P'(kg)	3590
P (kg)	8140
DI (cm)	0.106

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	325.6000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	143.6000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27094.3396

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	230.000
3	0.7112	1970.000
4	0.889	2610.000
5	1.0668	3590.000
6	1.3716	4950.000
7	1.4732	5400.000
8	1.651	6650.000
9	1.8288	7010.000
10	2.032	7340.000
11	2.159	7990.000
12	2.3114	8140.000



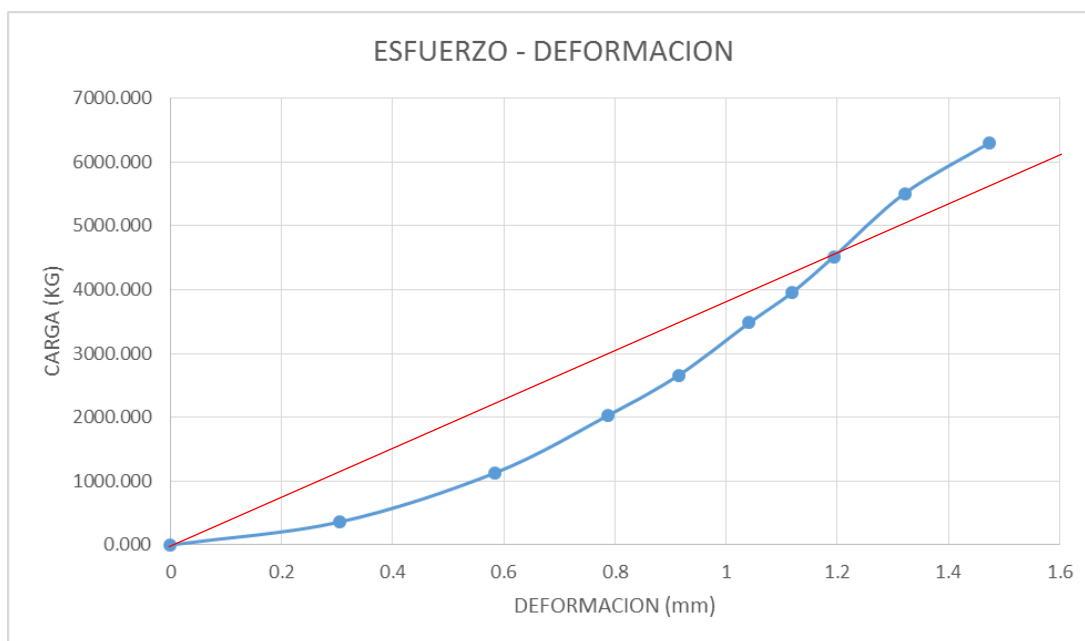
**Probeta N-8**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	8-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	4520
P (kg)	6620
DI (cm)	0.1193

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	264.8000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	180.8000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	30461.6932

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3048	360.000
3	0.5842	1130.000
4	0.7874	2030.000
5	0.9144	2660.000
6	1.0414	3480.000
7	1.1176	3950.000
8	1.1938	4520.000
9	1.3208	5510.000
10	1.4732	6300.000
11	1.5748	6620.000





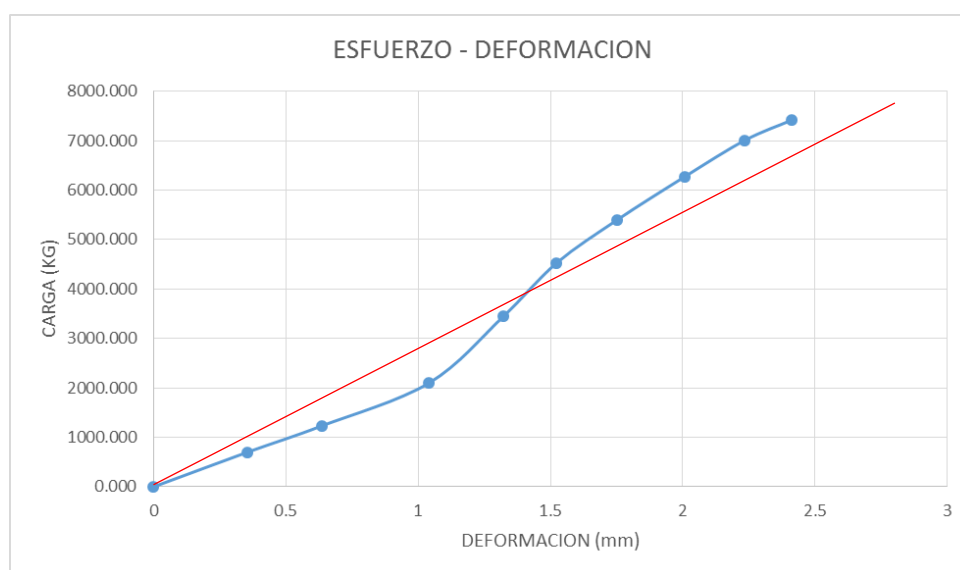
Probeta N-9

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	9-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P'(kg)	3440
P (kg)	8780
DI (cm)	0.13208

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	351.2000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	137.6000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	20940.0363

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3556	700.000
3	0.635	1230.000
4	1.0414	2100.000
5	1.3208	3440.000
6	1.524	4530.000
7	1.7526	5400.000
8	2.0066	6270.000
9	2.2352	7010.000
10	2.413	7420.000
11	3.429	8000.000
12	3.937	8780.000



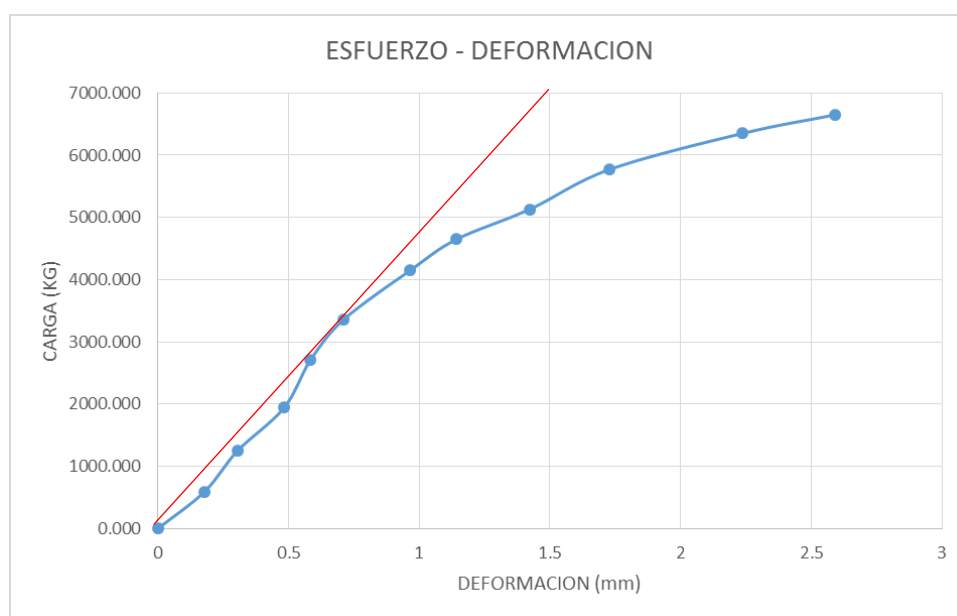
**Probeta N-10**

N° DE PROBETA	10-Humedo
---------------	-----------

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	3360
P (kg)	6650
DI (cm)	0.07112

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	266.0000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	134.4000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	37795.2756

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1778	590.000
3	0.3048	1250.000
4	0.4826	1940.000
5	0.5842	2710.000
6	0.7112	3360.000
7	0.9652	4150.000
8	1.143	4650.000
9	1.4224	5130.000
10	1.7272	5770.000
11	2.2352	6350.000
12	2.5908	6650.000





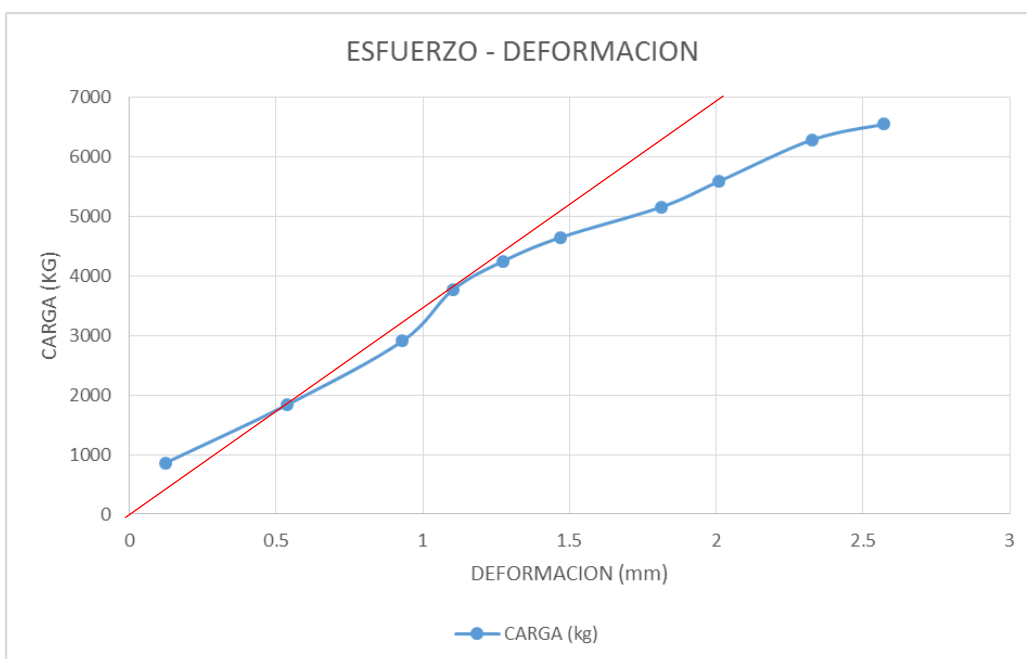
**Probeta N-11**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	11-Humeda

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.08
Ancho (cm)	4.98
Espesor (cm)	5.1
P' (kg)	4250
P (kg)	6550
DI (cm)	0.1274

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	257.8943
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	167.3360
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	26374.4670

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0.1225	860
2	0.539	1840
3	0.931	2910
4	1.1025	3770
5	1.274	4250
6	1.47	4650
7	1.813	5160
8	2.009	5590
9	2.3275	6290
10	2.5725	6550
11		





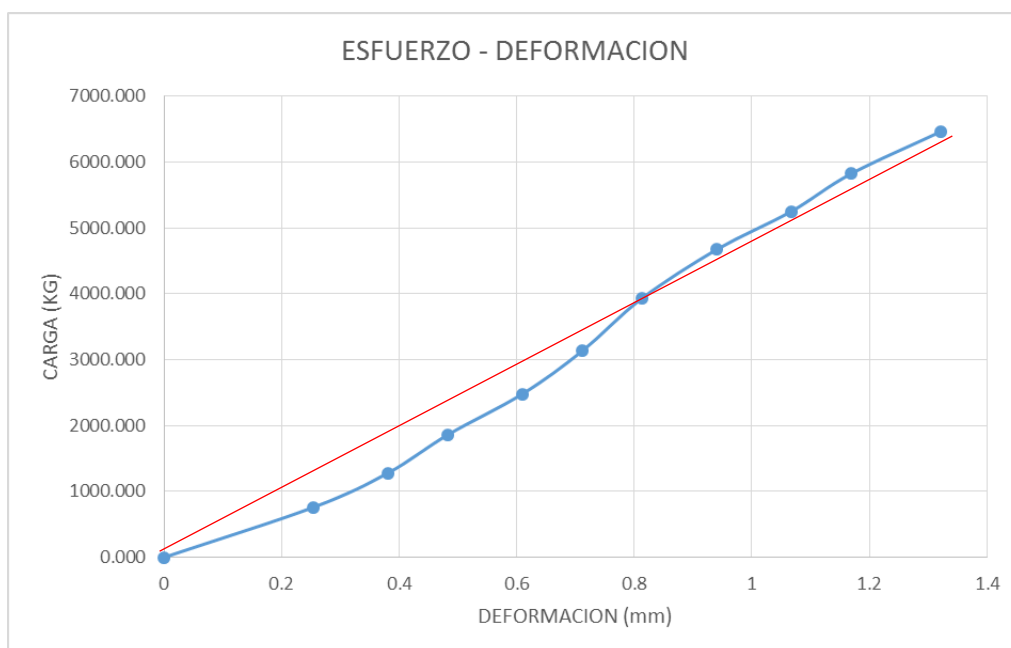
Probeta N-12

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	12-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.05
Ancho (cm)	5.1
Espesor (cm)	4.8
P' (kg)	3930
P (kg)	6460
DI (cm)	0.08128

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	263.8889
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	160.5392
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	39601.5167

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	760.000
3	0.381	1280.000
4	0.4826	1860.000
5	0.6096	2480.000
6	0.7112	3130.000
7	0.8128	3930.000
8	0.9398	4670.000
9	1.0668	5250.000
10	1.1684	5820.000
11	1.3208	6460.000



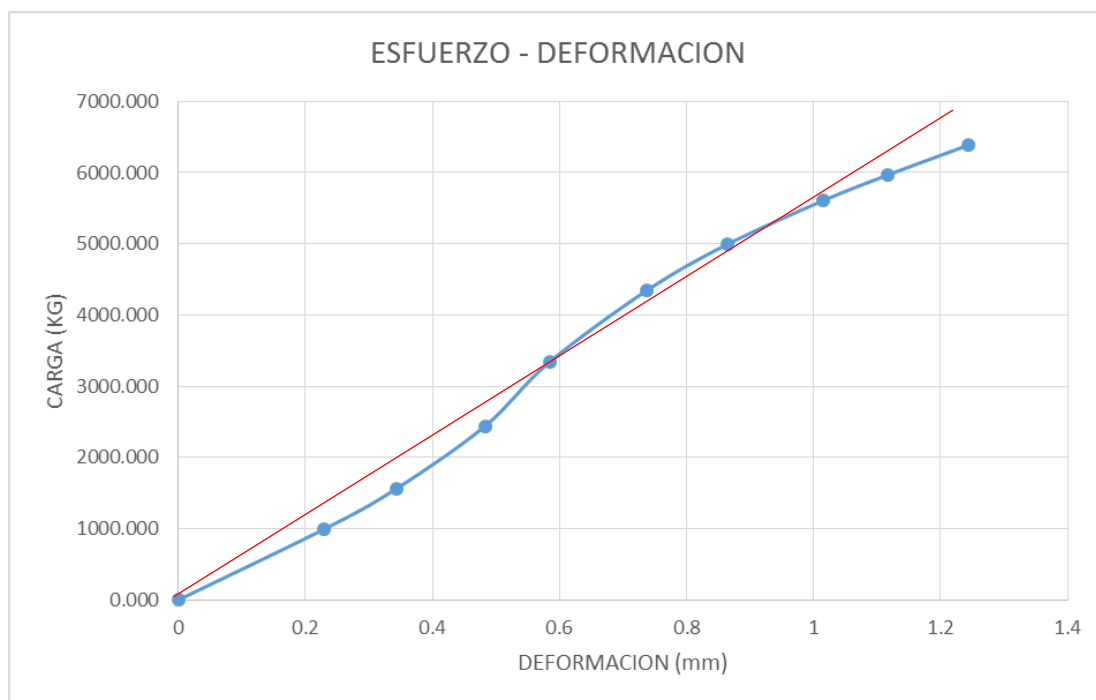
**Probeta N-13**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	13-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5.05
Espesor (cm)	5.05
P' (kg)	3340
P (kg)	6390
DI (cm)	0.05842

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	250.5637
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	130.9676
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	45060.7292

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2286	990.000
3	0.3429	1560.000
4	0.4826	2440.000
5	0.5842	3340.000
6	0.7366	4340.000
7	0.8636	4990.000
8	1.016	5610.000
9	1.1176	5970.000
10	1.2446	6390.000



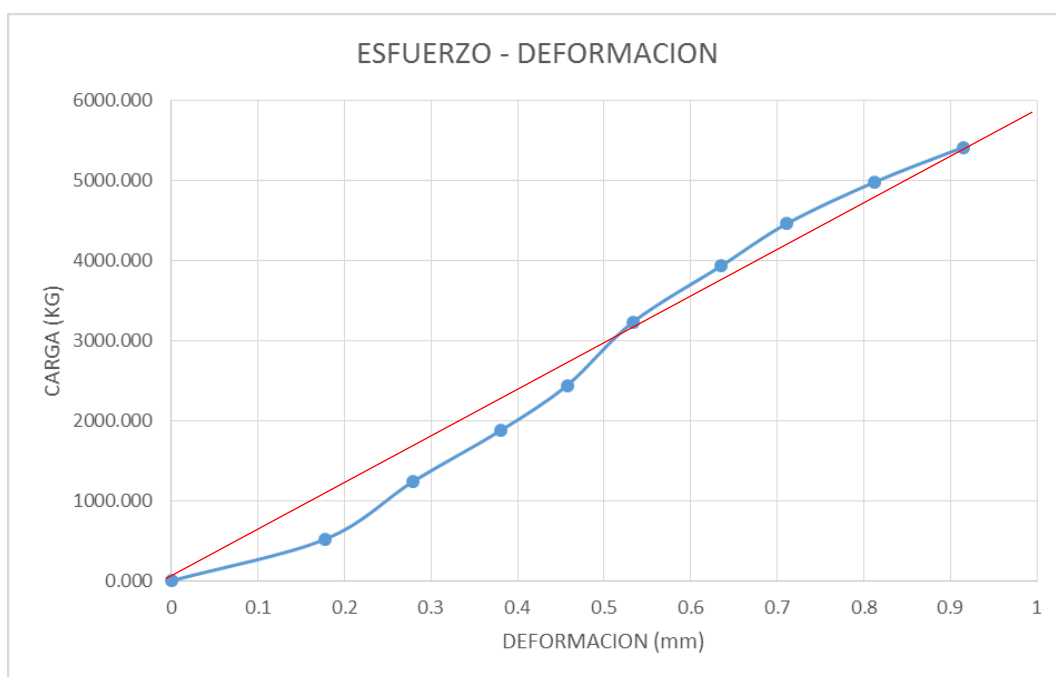
**Probeta N-14**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	14-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5.02
Espesor (cm)	5
P' (kg)	3230
P (kg)	5410
DI (cm)	0.05334

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	215.5378
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	128.6853
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	48492.1954

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1778	520.000
3	0.2794	1240.000
4	0.381	1880.000
5	0.4572	2440.000
6	0.5334	3230.000
7	0.635	3930.000
8	0.7112	4460.000
9	0.8128	4980.000
10	0.9144	5410.000





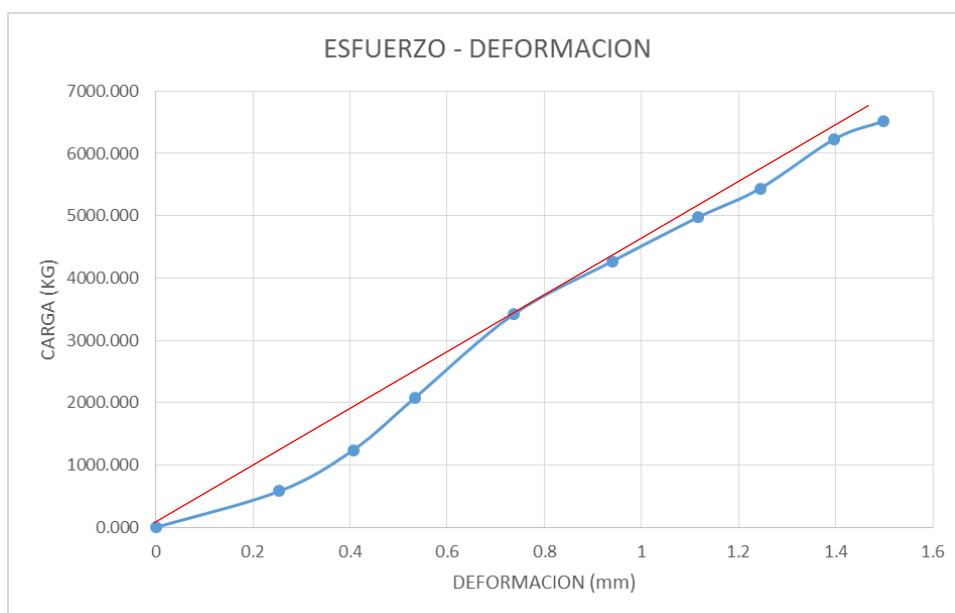
**Probeta N-15**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	15-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	3420
P (kg)	6520
DI (cm)	0.07366

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	260.8000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	136.8000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	37143.6329

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	580.000
3	0.4064	1240.000
4	0.5334	2080.000
5	0.7366	3420.000
6	0.9398	4270.000
7	1.1176	4980.000
8	1.2446	5440.000
9	1.397	6230.000
10	1.4986	6520.000





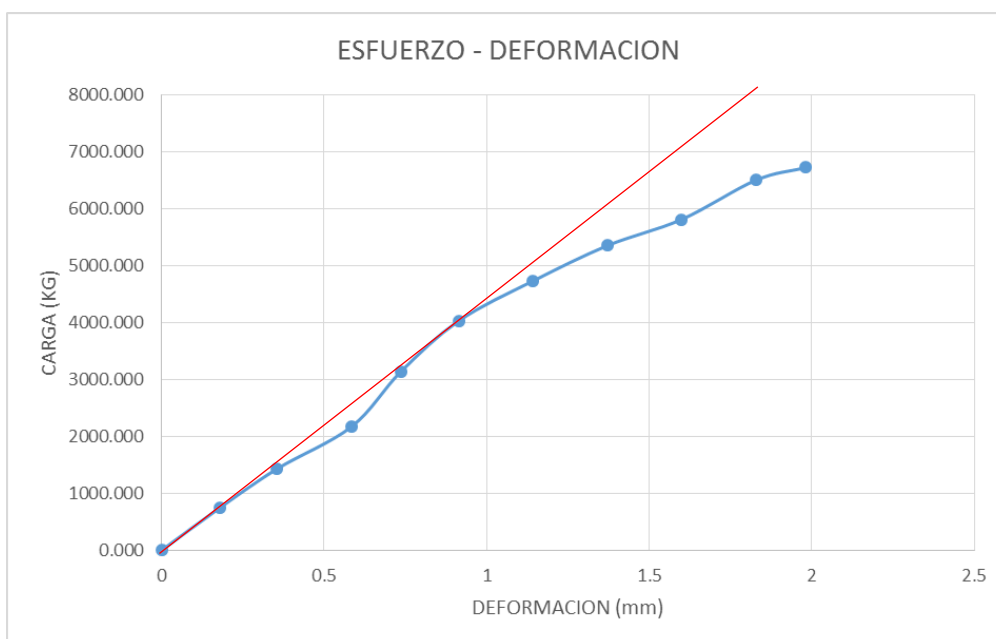
**Probeta N-16**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	16-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	4030
P (kg)	6720
DI (cm)	0.09144

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	274.2857
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	164.4898
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	36157.5339

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1778	740.000
3	0.3556	1430.000
4	0.5842	2170.000
5	0.7366	3140.000
6	0.9144	4030.000
7	1.143	4730.000
8	1.3716	5350.000
9	1.6002	5810.000
10	1.8288	6500.000
11	1.9812	6720.000



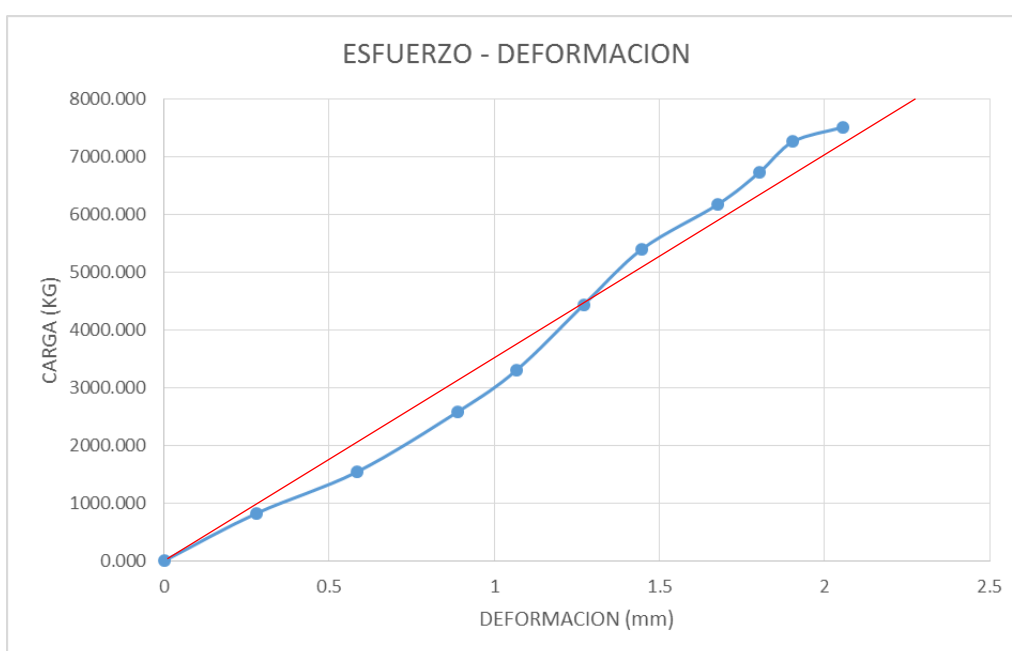
## Probeta N-17

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	17-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	4430
P (kg)	7510
DI (cm)	0.127

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	300.4000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	177.2000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27905.5118

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	820.000
3	0.5842	1540.000
4	0.889	2580.000
5	1.0668	3300.000
6	1.27	4430.000
7	1.4478	5400.000
8	1.6764	6170.000
9	1.8034	6730.000
10	1.905	7260.000
11	2.0574	7510.000



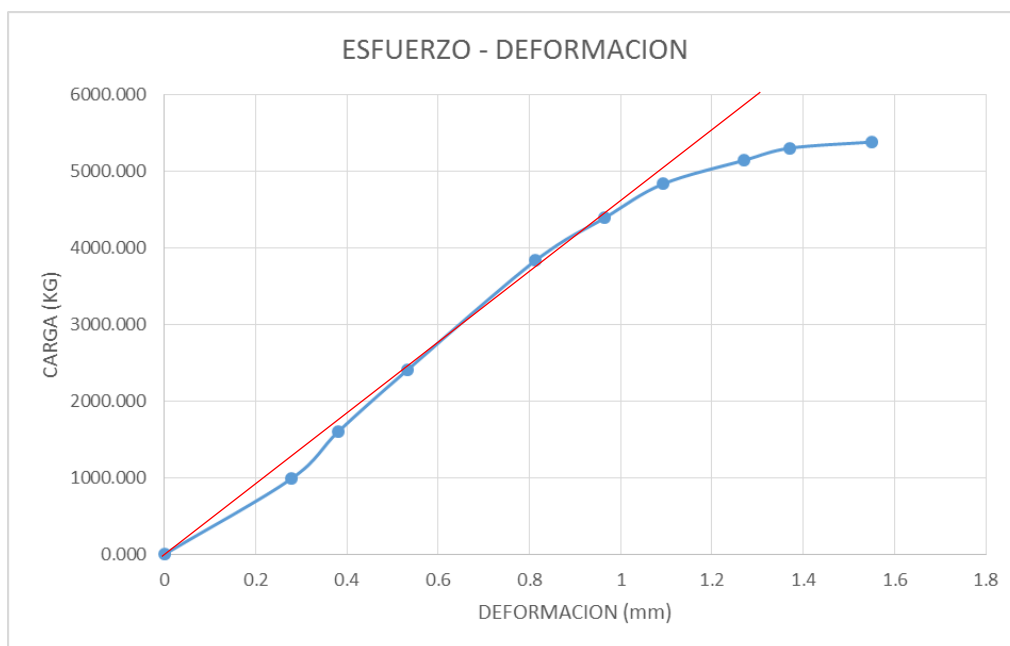
**Probeta N-18**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	18-Humedo

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.98
Espesor (cm)	5
P' (kg)	4390
P (kg)	5380
DI (cm)	0.09652

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	216.0643
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	176.3052
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	36715.0325

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	990.000
3	0.381	1600.000
4	0.5334	2410.000
5	0.8128	3830.000
6	0.9652	4390.000
7	1.0922	4830.000
8	1.27	5140.000
9	1.3716	5300.000
10	1.5494	5380.000





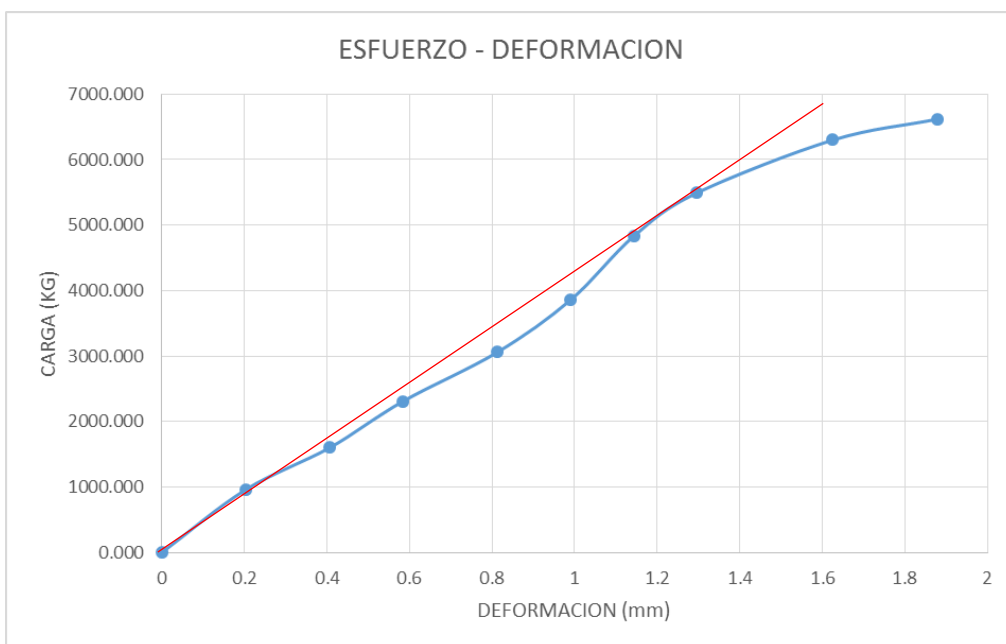
**Probeta N-19**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	19-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.5
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	4830
P (kg)	6620
DI (cm)	0.1143

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	264.8000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	193.2000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34650.9186

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2032	960.000
3	0.4064	1600.000
4	0.5842	2310.000
5	0.8128	3060.000
6	0.9906	3860.000
7	1.143	4830.000
8	1.2954	5490.000
9	1.6256	6300.000
10	1.8796	6620.000



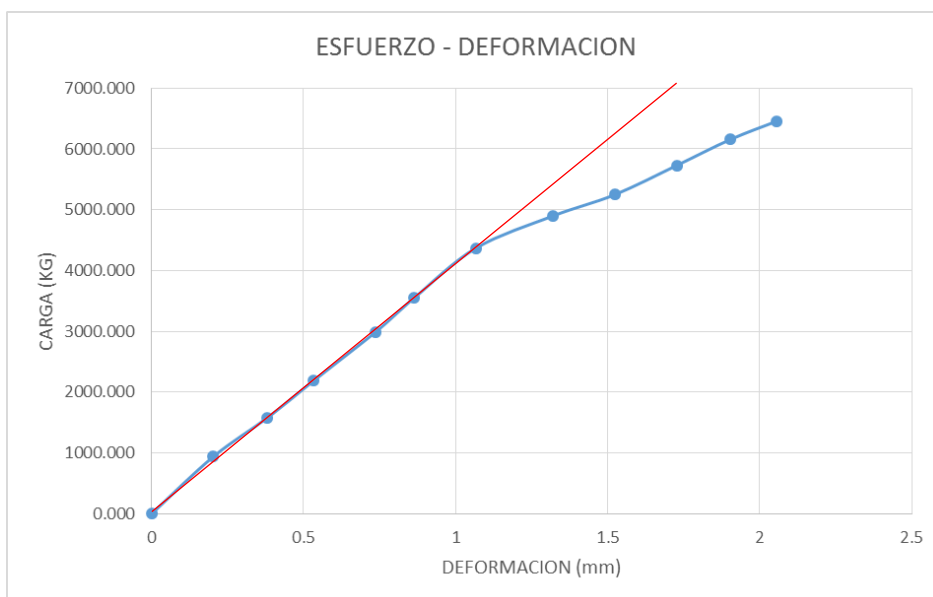
**Probeta N-20**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	20-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.95
Espesor (cm)	5
P' (kg)	6460
P (kg)	4370
DI (cm)	0.10666

<b>CÁLCULOS NUMÉRICOS</b>	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	176.5657
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	261.0101
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	49187.1651

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2032	940.000
3	0.381	1580.000
4	0.5334	2190.000
5	0.7366	2990.000
6	0.8636	3550.000
7	1.0668	4370.000
8	1.3208	4900.000
9	1.524	5250.000
10	1.7272	5730.000
11	1.905	6160.000
12	2.0574	6460.000





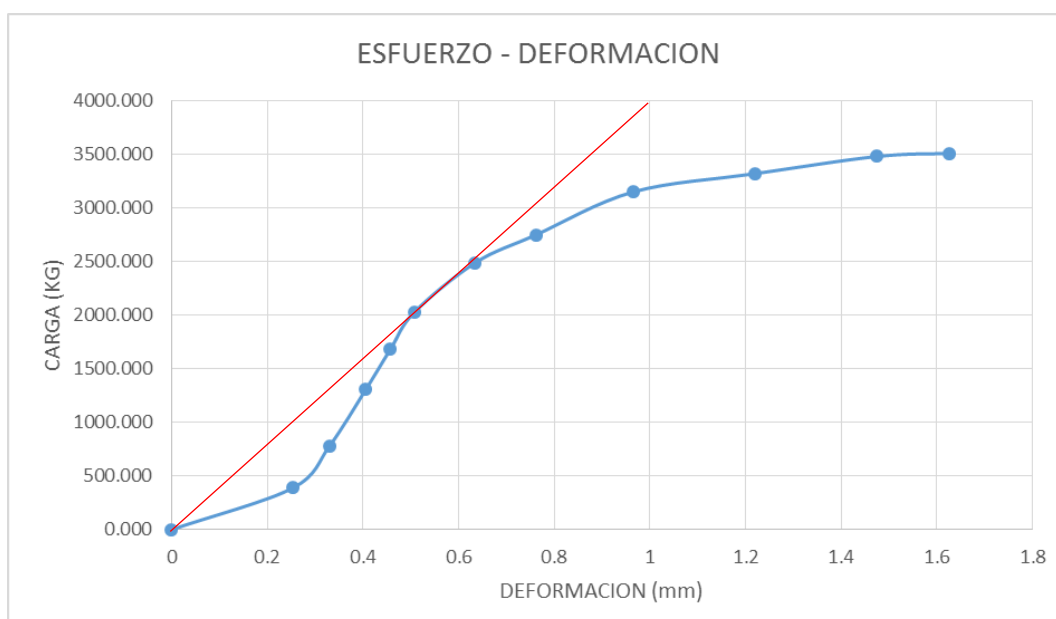
Probeta N-1

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	1- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.05
P' (kg)	2490
P (kg)	3510
DI (cm)	0.0635

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	139.0099
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	98.6139
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	31059.4839

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	390.000
3	0.3302	780.000
4	0.4064	1310.000
5	0.4572	1680.000
6	0.508	2030.000
7	0.635	2490.000
8	0.762	2750.000
9	0.9652	3150.000
10	1.2192	3320.000
11	1.4732	3480.000
12	1.6256	3510.000





Probeta N-2

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	2- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.1
P' (kg)	4560
P (kg)	5750
DI (cm)	0.127

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	225.4902
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	178.8235
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28161.1857

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3556	840.000
3	0.508	1380.000
4	0.635	2080.000
5	0.7112	2440.000
6	0.8636	3030.000
7	0.9906	3600.000
8	1.1176	4080.000
9	1.27	4560.000
10	1.4224	4820.000
11	1.7272	5290.000
12	2.0066	5750.000







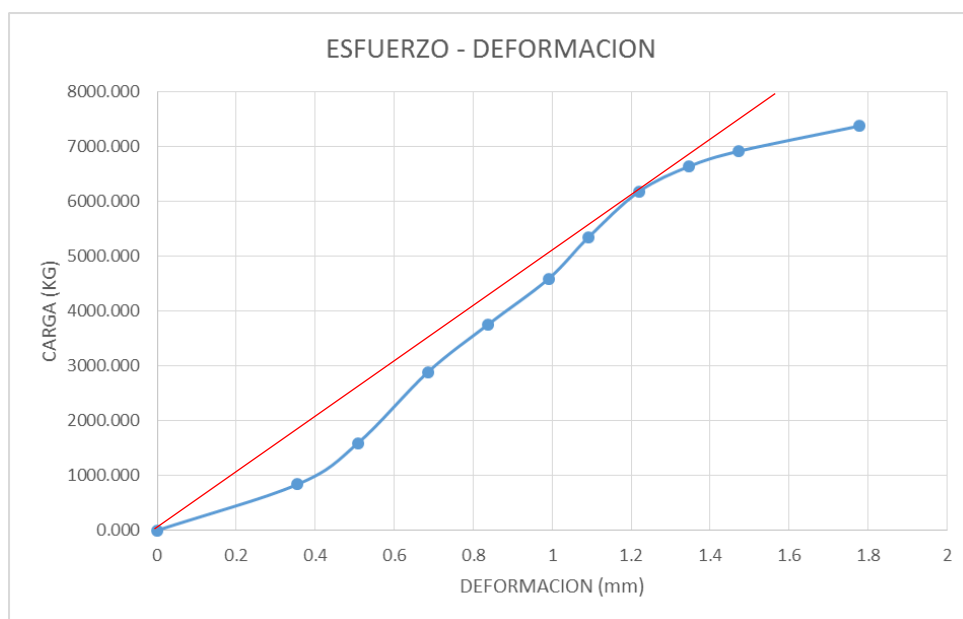
Probeta N-3

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	3- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	6180
P (kg)	7380
DI (cm)	0.12192

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	295.2000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	247.2000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	40753.9370

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3556	840.000
3	0.508	1590.000
4	0.6858	2890.000
5	0.8382	3760.000
6	0.9906	4590.000
7	1.0922	5350.000
8	1.2192	6180.000
9	1.3462	6640.000
10	1.4732	6920.000
11	1.778	7380.000





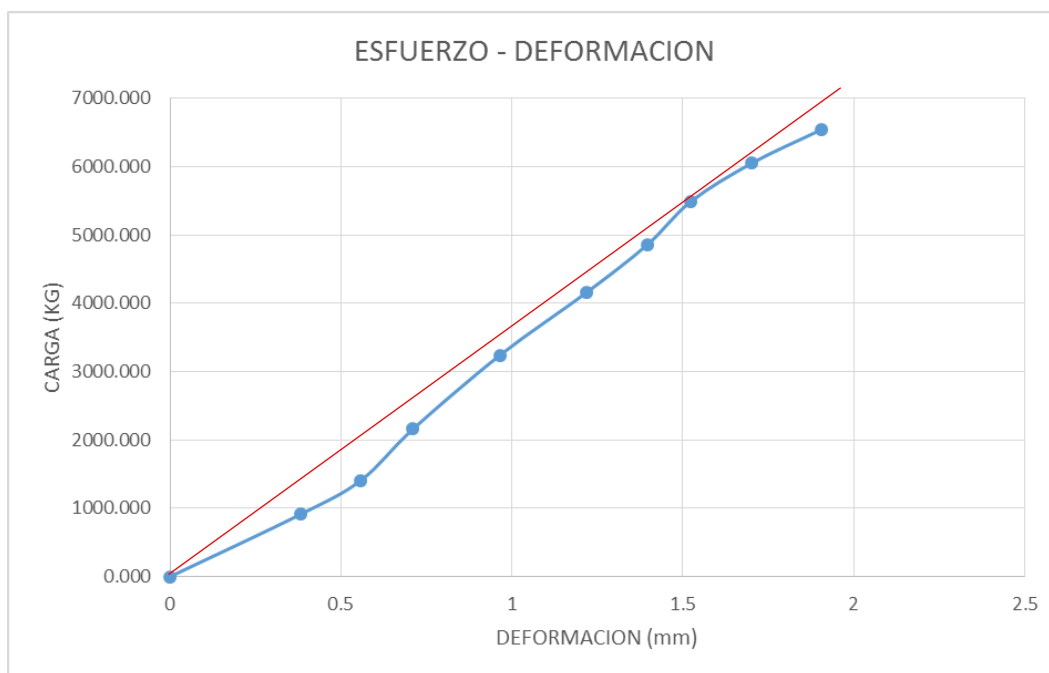
**Probeta N-4**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	4- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5
P' (kg)	5490
P (kg)	6540
DI (cm)	0.1524

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	261.6000
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	219.6000
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28962.9921

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.381	910.000
3	0.5588	1410.000
4	0.7112	2160.000
5	0.9652	3240.000
6	1.2192	4160.000
7	1.397	4860.000
8	1.524	5490.000
9	1.7018	6050.000
10	1.905	6540.000





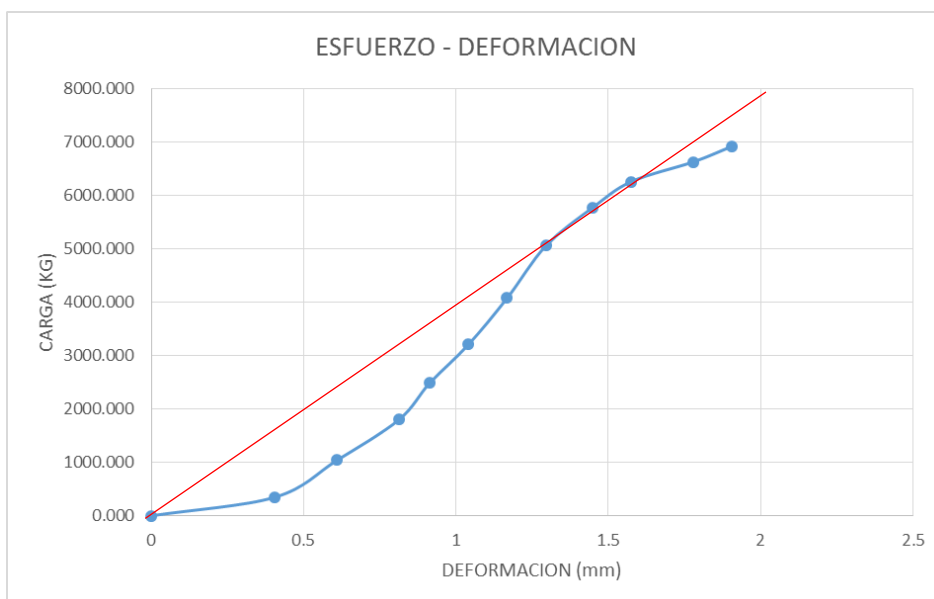
Probeta N-5

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	5- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5.1
Espesor (cm)	5
P' (kg)	5060
P (kg)	6920
DI (cm)	0.12954

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	271.3725
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	198.4314
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	30789.4904

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.4064	350.000
3	0.6096	1040.000
4	0.8128	1800.000
5	0.9144	2490.000
6	1.0414	3210.000
7	1.1684	4080.000
8	1.2954	5060.000
9	1.4478	5770.000
10	1.5748	6260.000
11	1.778	6630.000
12	1.905	6920.000





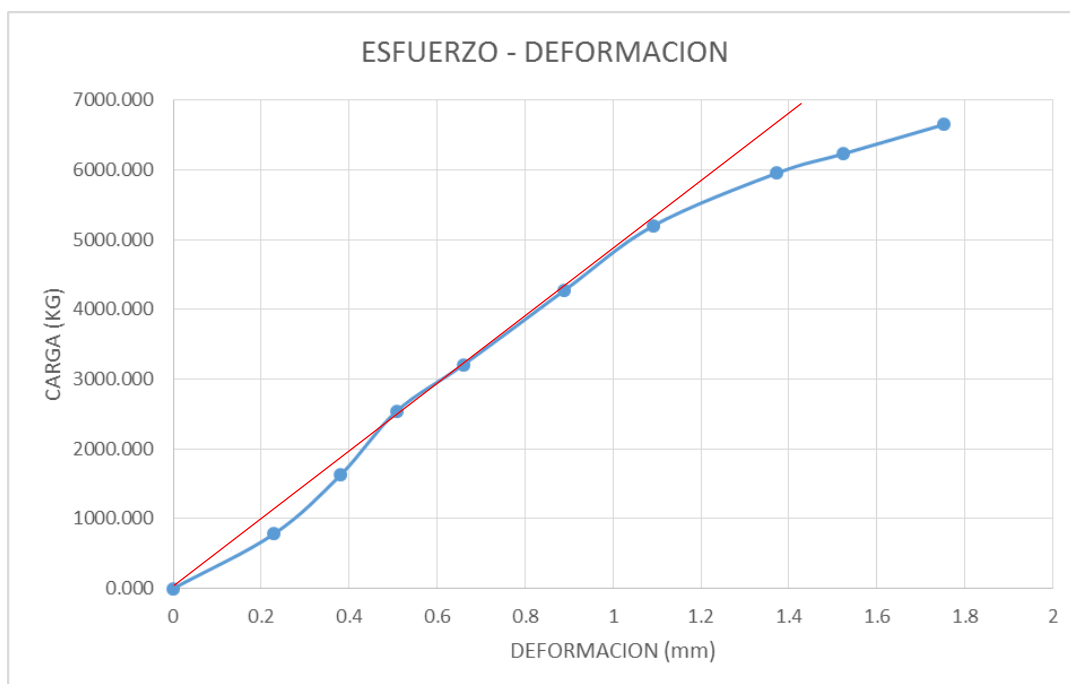
**Probeta N-6**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	6- Seca

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5.02
Espesor (cm)	5
P' (kg)	5200
P (kg)	6650
DI (cm)	0.10922

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	264.9402
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	207.1713
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	38126.1987

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2286	780.000
3	0.381	1630.000
4	0.508	2540.000
5	0.6604	3210.000
6	0.889	4270.000
7	1.0922	5200.000
8	1.3716	5950.000
9	1.524	6230.000
10	1.7526	6650.000





**Probeta N-7**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	7- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	5
P' (kg)	6540
P (kg)	8480
DI (cm)	0.127

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	346.1224
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	266.9388
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	42247.7905

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	420.000
3	0.4572	1180.000
4	0.635	2320.000
5	0.7874	3220.000
6	0.9906	4490.000
7	1.143	5580.000
8	1.27	6540.000
9	1.3716	7090.000
10	1.524	7730.000
11	1.7018	8170.000
12	1.8542	8480.000





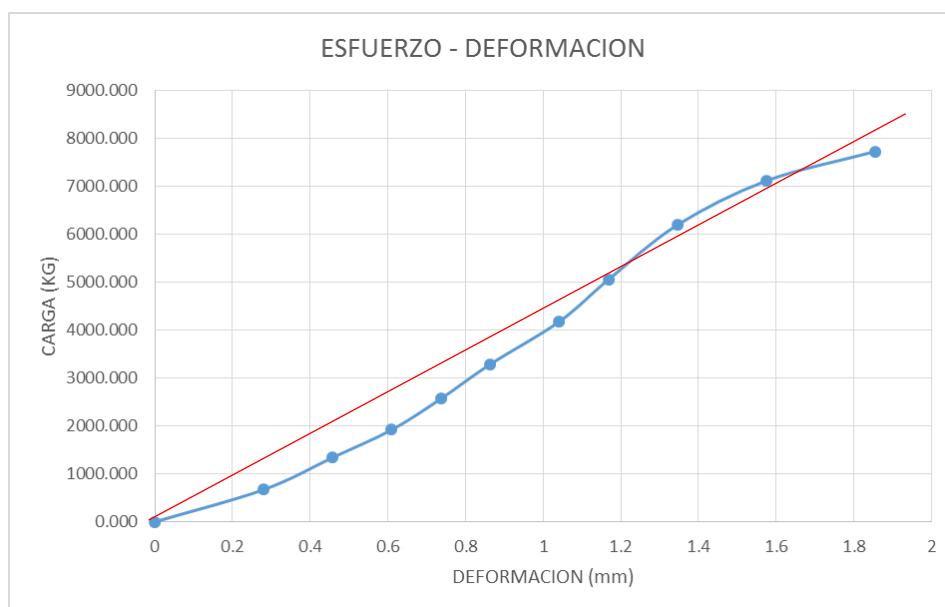
**Probeta N-8**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	8- Seca

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.1
P' (kg)	5060
P (kg)	7730
DI (cm)	0.11684

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	303.1373
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	198.4314
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34136.1742

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	670.000
3	0.4572	1340.000
4	0.6096	1920.000
5	0.7366	2570.000
6	0.8636	3290.000
7	1.0414	4180.000
8	1.1684	5060.000
9	1.3462	6200.000
10	1.5748	7120.000
11	1.8542	7730.000





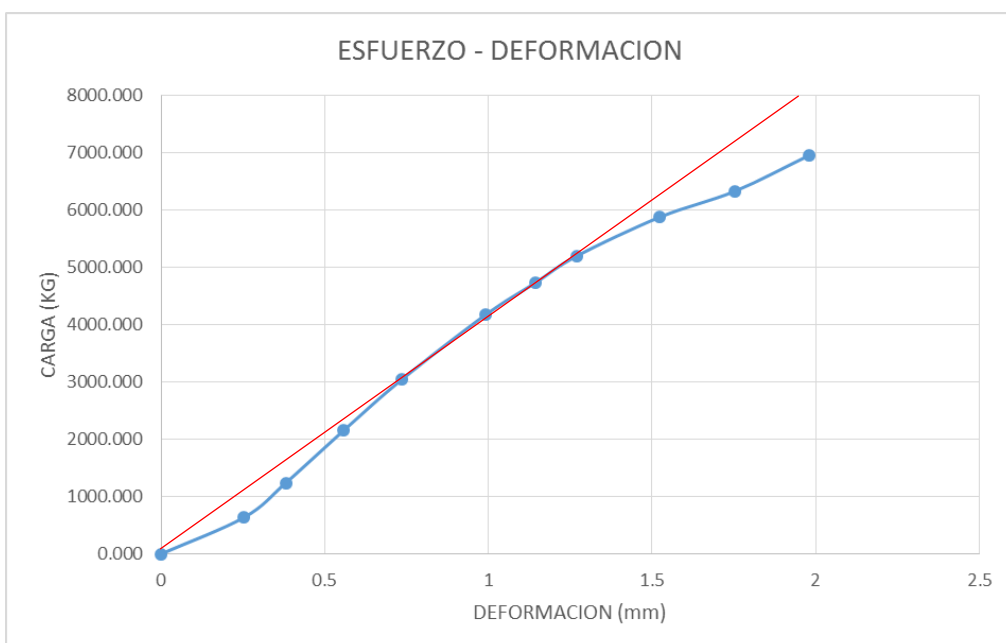
Probeta N-9

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	9- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.1
P' (kg)	5200
P (kg)	6960
DI (cm)	0.127

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	272.9412
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	203.9216
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	32274.2010

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	640.000
3	0.381	1240.000
4	0.5588	2160.000
5	0.7366	3050.000
6	0.9906	4170.000
7	1.143	4730.000
8	1.27	5200.000
9	1.524	5880.000
10	1.7526	6330.000
11	1.9812	6960.000





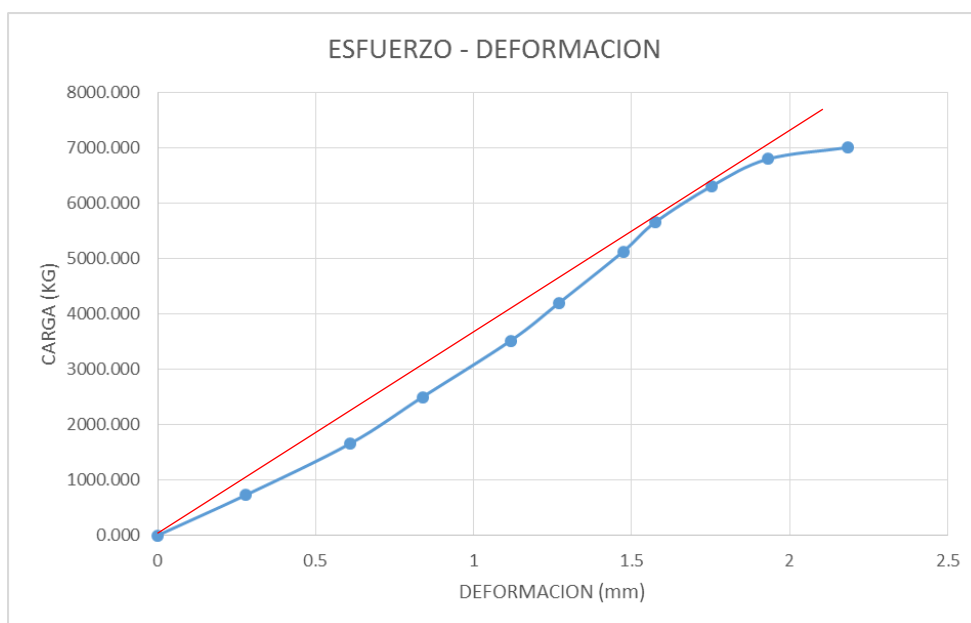
Probeta N-10

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	10- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.02
P' (kg)	5660
P (kg)	7010
DI (cm)	0.15748

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	279.2829
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	225.4980
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28781.4958

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	730.000
3	0.6096	1660.000
4	0.8382	2500.000
5	1.1176	3520.000
6	1.27	4200.000
7	1.4732	5130.000
8	1.5748	5660.000
9	1.7526	6310.000
10	1.9304	6800.000
11	2.1844	7010.000







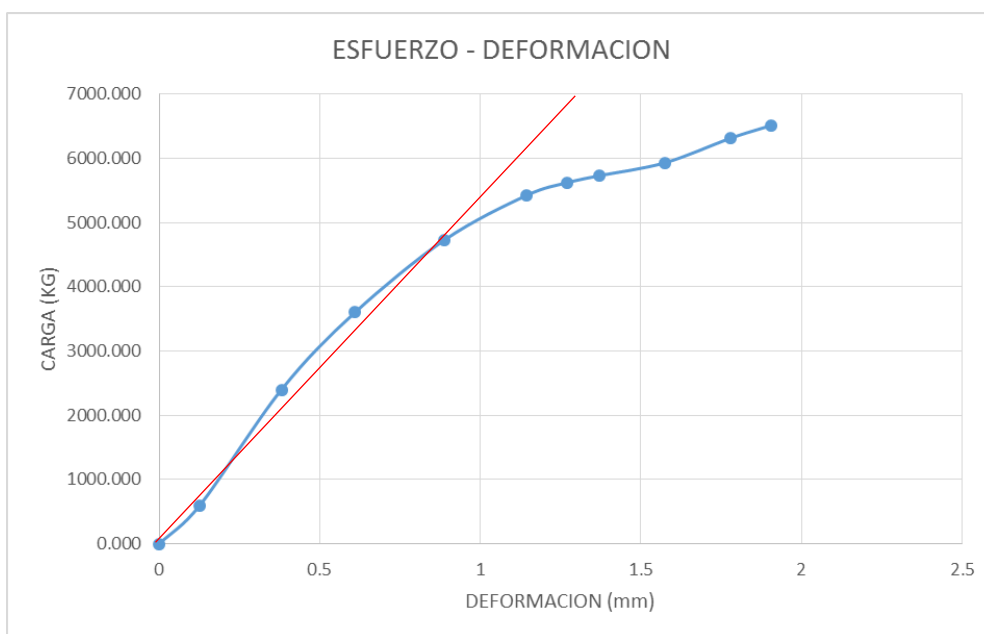
**Probeta N-11**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	11- Seca

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	5420
P (kg)	6510
DI (cm)	0.1143

<b>CÁLCULOS NUMÉRICOS</b>	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	271.1370
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	225.7393
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	39696.9329

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.127	600.000
3	0.381	2400.000
4	0.6096	3600.000
5	0.889	4730.000
6	1.143	5420.000
7	1.27	5620.000
8	1.3716	5730.000
9	1.5748	5930.000
10	1.778	6310.000
11	1.905	6510.000





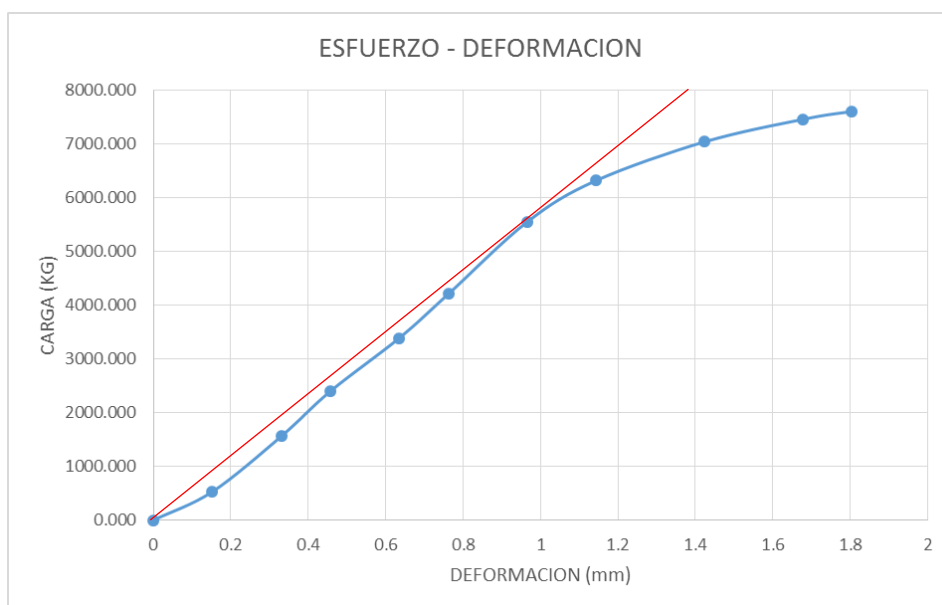
**Probeta N-12**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	12- Seca

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	5550
P (kg)	7610
DI (cm)	0.09652

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	310.6122
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	226.5306
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	47174.319

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1524	530.000
3	0.3302	1560.000
4	0.4572	2400.000
5	0.635	3390.000
6	0.762	4210.000
7	0.9652	5550.000
8	1.143	6320.000
9	1.4224	7040.000
10	1.6764	7460.000
11	1.8034	7610.000





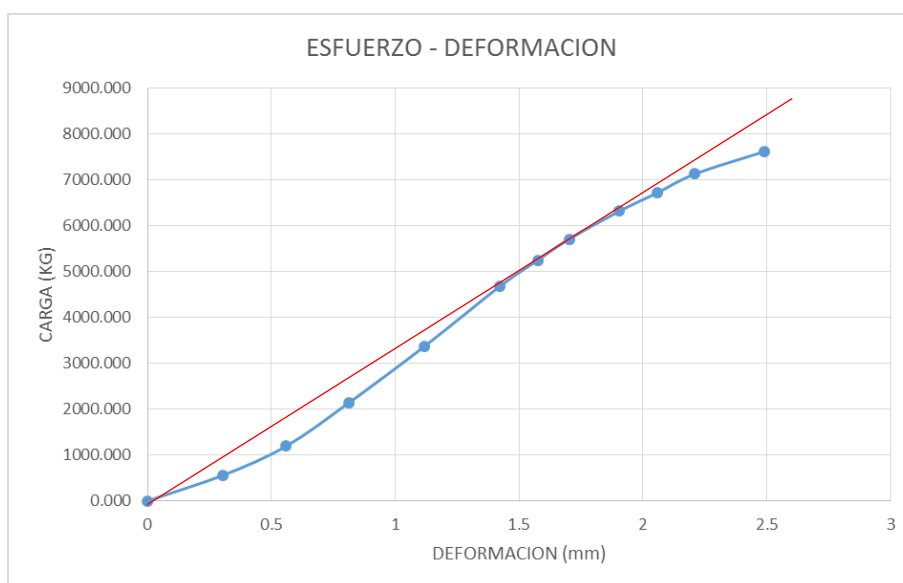
**Probeta N-13**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	13- Seca

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	20.2
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	5250
P (kg)	7620
DI (cm)	0.15748

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	317.3678
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	218.6589
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28047.4322

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3048	560.000
3	0.5588	1190.000
4	0.8128	2140.000
5	1.1176	3370.000
6	1.4224	4680.000
7	1.5748	5250.000
8	1.7018	5710.000
9	1.905	6320.000
10	2.0574	6720.000
11	2.2098	7130.000
12	2.4892	7620.000





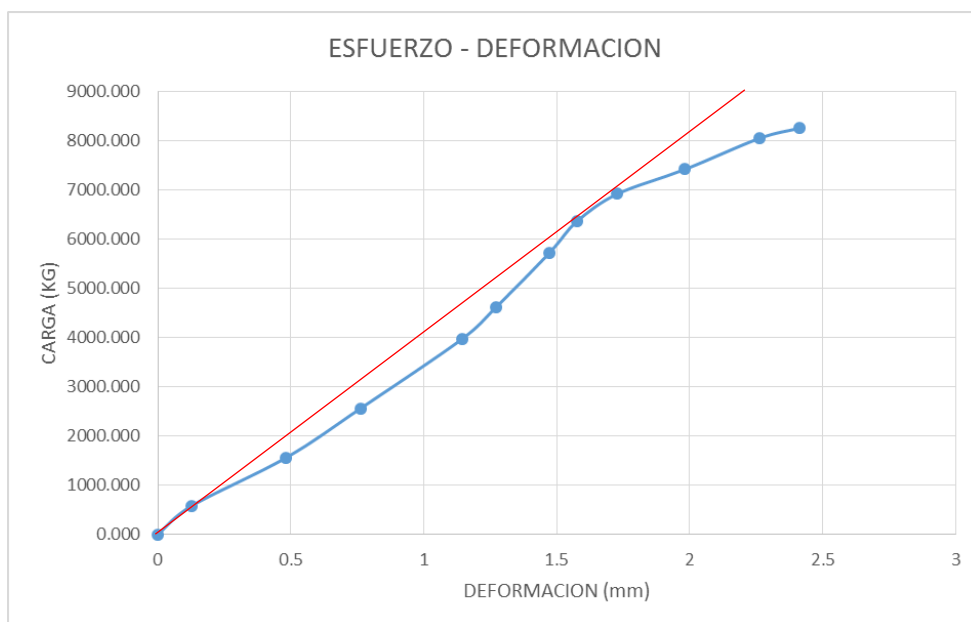
Probeta N-14

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	14- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	6360
P (kg)	8260
DI (cm)	0.15748

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	344.0233
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	264.8896
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	33809.2555

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.127	580.000
3	0.4826	1560.000
4	0.762	2560.000
5	1.143	3970.000
6	1.27	4610.000
7	1.4732	5730.000
8	1.5748	6360.000
9	1.7272	6920.000
10	1.9812	7420.000
11	2.2606	8050.000
12	2.413	8260.000





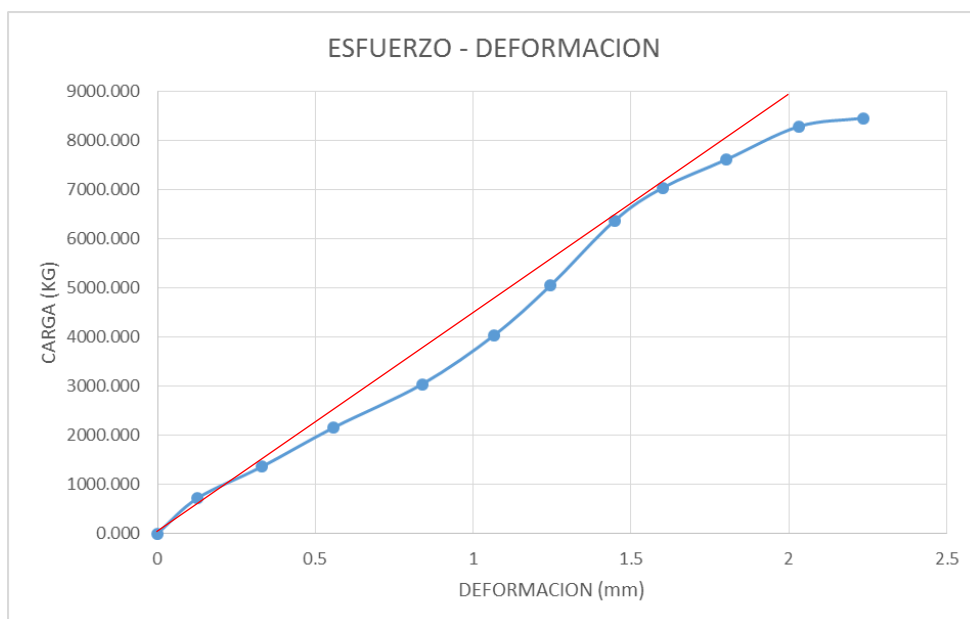
**Probeta N-15**

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	15- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	6370
P (kg)	8460
DI (cm)	0.14478

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	352.3532
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	265.3061
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	36832.8019

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.127	720.000
3	0.3302	1360.000
4	0.5588	2160.000
5	0.8382	3040.000
6	1.0668	4040.000
7	1.2446	5050.000
8	1.4478	6370.000
9	1.6002	7040.000
10	1.8034	7620.000
11	2.032	8290.000
12	2.2352	8460.000





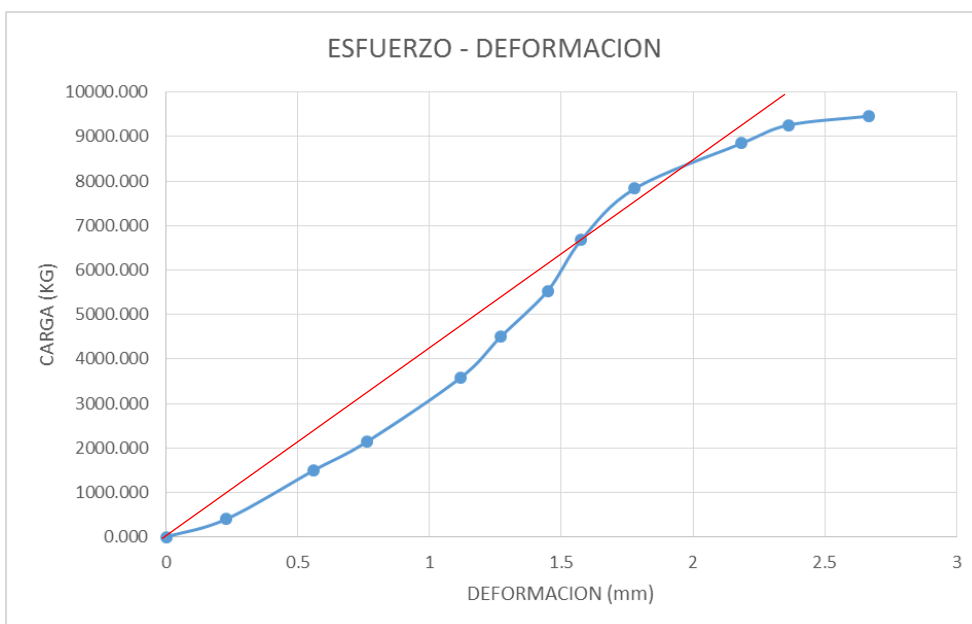
Probeta N-16

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	16- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	6670
P (kg)	9460
DI (cm)	0.15748

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	386.1224
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	272.2449
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34748.0470

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2286	400.000
3	0.5588	1490.000
4	0.762	2140.000
5	1.1176	3580.000
6	1.27	4500.000
7	1.4478	5530.000
8	1.5748	6670.000
9	1.778	7830.000
10	2.1844	8850.000
11	2.3622	9260.000
12	2.667	9460.000





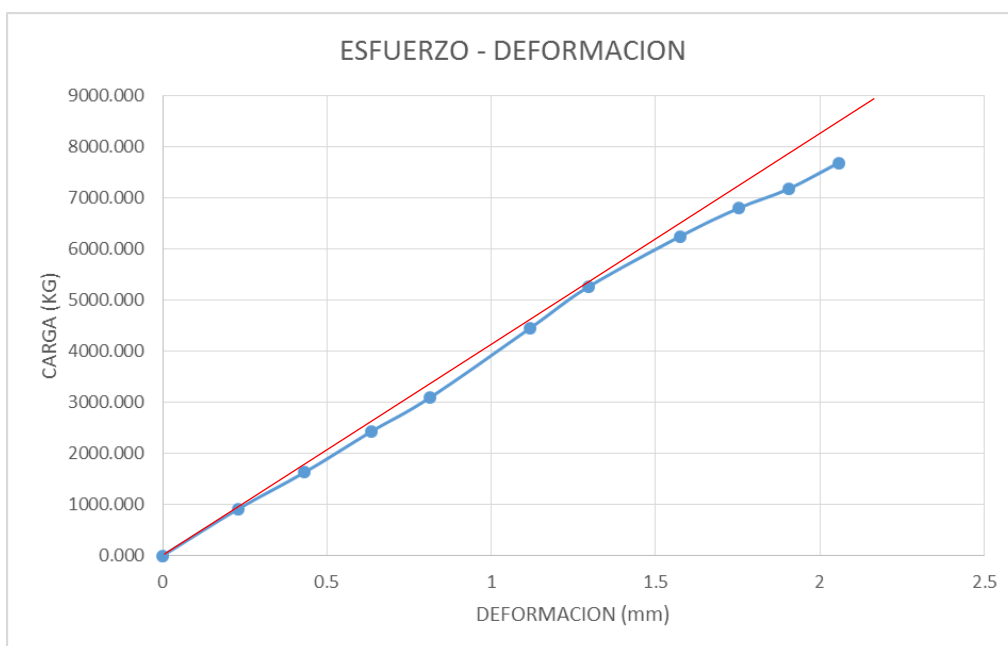
Probeta N-17

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	17- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	5
P' (kg)	5260
P (kg)	7690
DI (cm)	0.12954

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	313.8776
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	214.6939
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	33312.8527

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2286	910.000
3	0.4318	1630.000
4	0.635	2430.000
5	0.8128	3090.000
6	1.1176	4450.000
7	1.2954	5260.000
8	1.5748	6250.000
9	1.7526	6800.000
10	1.905	7180.000
11	2.0574	7690.000





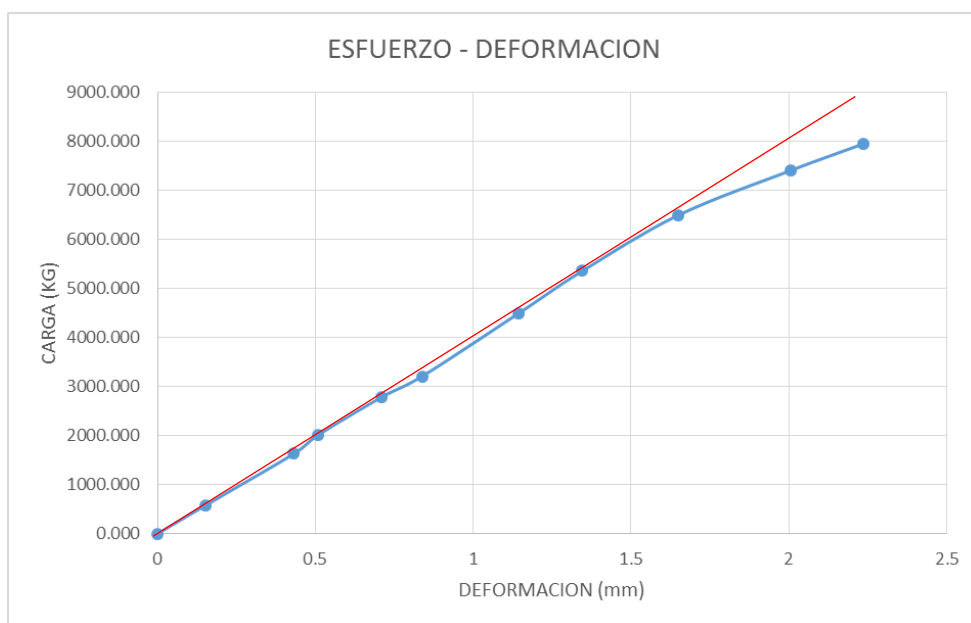
Probeta N-18

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	18- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	5360
P (kg)	7950
DI (cm)	0.13462

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	324.4898
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	218.7755
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	33312.8527

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1524	580.000
3	0.4318	1630.000
4	0.508	2010.000
5	0.7112	2790.000
6	0.8382	3210.000
7	1.143	4490.000
8	1.3462	5360.000
9	1.651	6500.000
10	2.0066	7410.000
11	2.2352	7950.000







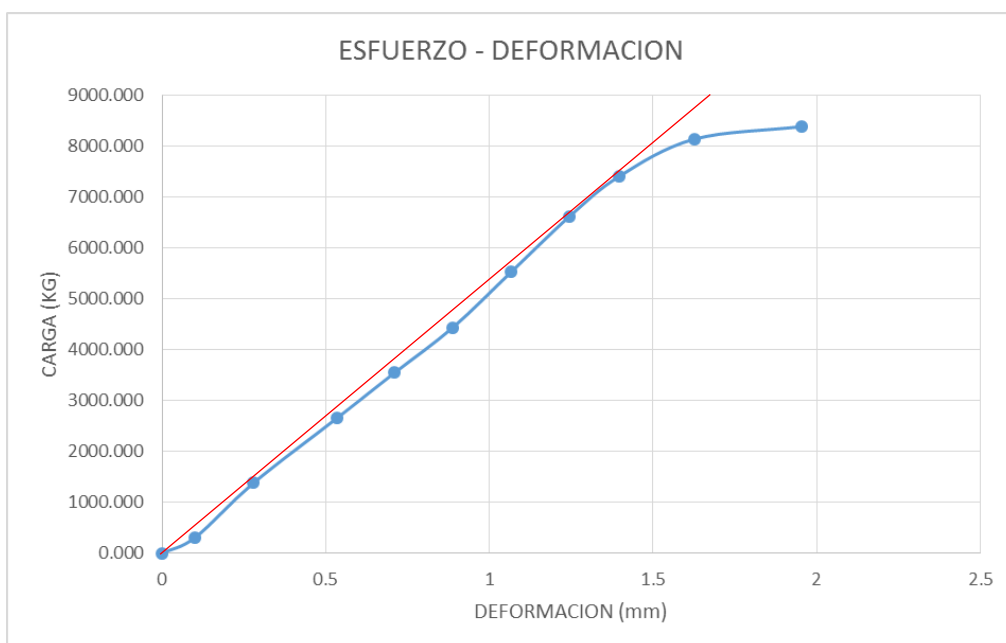
Probeta N-19

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	19- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.1
Ancho (cm)	5
Espesor (cm)	5.1
P' (kg)	6620
P (kg)	8390
DI (cm)	0.12446

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	329.0196
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	259.6078
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	41926.0618

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1016	310.000
3	0.2794	1380.000
4	0.5334	2650.000
5	0.7112	3550.000
6	0.889	4440.000
7	1.0668	5530.000
8	1.2446	6620.000
9	1.397	7410.000
10	1.6256	8140.000
11	1.9558	8390.000





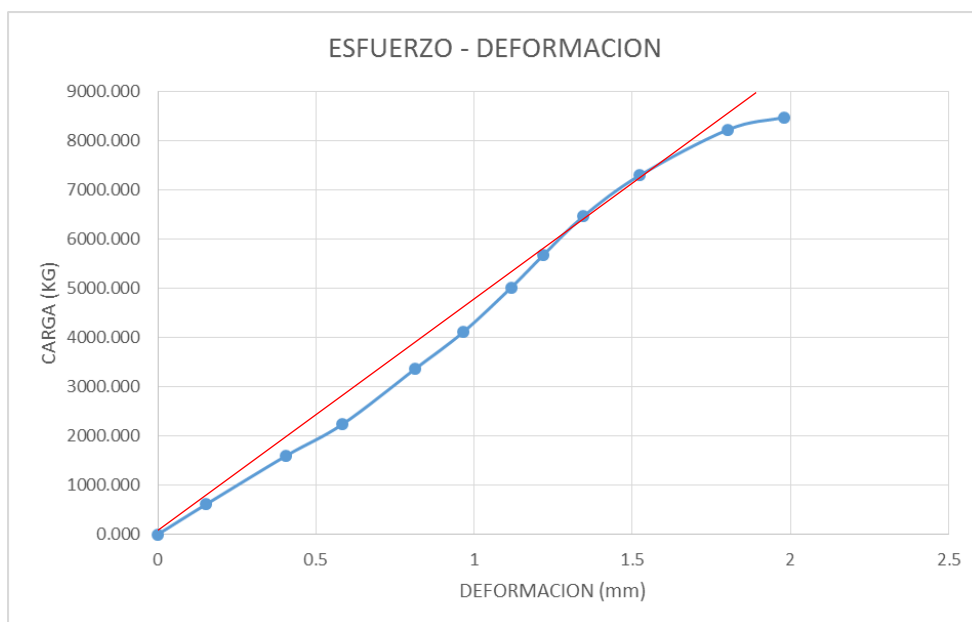
Probeta N-20

FECHA	06/04/2016
N° DE PROBETA	20- Seca

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	20.2
Ancho (cm)	4.9
Espesor (cm)	4.9
P' (kg)	5680
P (kg)	8480
DI (cm)	0.1292

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	353.1862
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	236.5681
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	36986.6529

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1524	610.000
3	0.4064	1600.000
4	0.5842	2240.000
5	0.8128	3360.000
6	0.9652	4110.000
7	1.1176	5020.000
8	1.2192	5680.000
9	1.3462	6470.000
10	1.524	7300.000
11	1.8034	8230.000
12	1.9812	8480.000





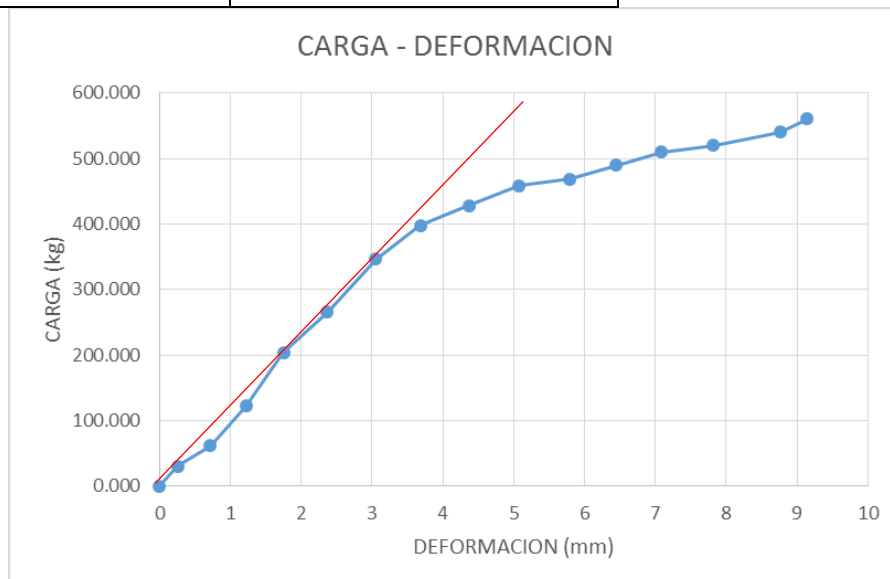
**Probeta N-1**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	1- Húmeda

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	346.704
P (kg)	560.844
DI (cm)	0.3048

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	942.2179
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	582.4627
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	39015.5748

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	30.591
3	0.7112	61.183
4	1.2192	122.366
5	1.7526	203.943
6	2.3622	265.126
7	3.048	346.704
8	3.683	397.689
9	4.3688	428.281
10	5.08	458.872
11	5.7912	469.069
12	6.4516	489.464
13	7.0866	509.858
14	7.8232	520.055
15	8.763	540.450
16	9.144	560.844



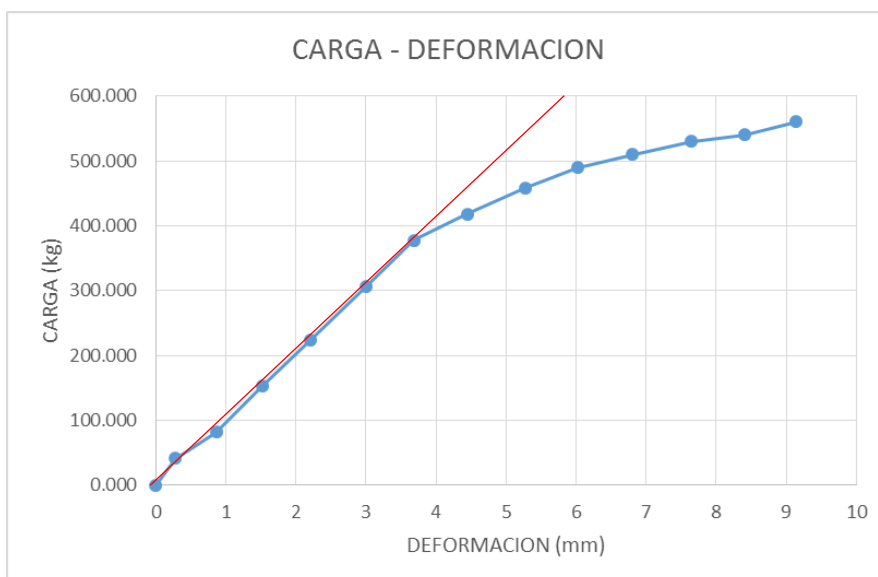
**Probeta N-2**

N° DE PROBETA	2- Húmeda
---------------	-----------

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	377.295
P (kg)	560.844
DI (cm)	0.3683

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	942.2179
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	633.8556
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	35137.7097

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.2794	40.789
3	0.8636	81.577
4	1.524	152.957
5	2.2098	224.338
6	2.9972	305.915
7	3.683	377.295
8	4.445	418.084
9	5.2832	458.872
10	6.0198	489.464
11	6.8072	509.858
12	7.6454	530.252
13	8.4074	540.450
14	9.144	560.844





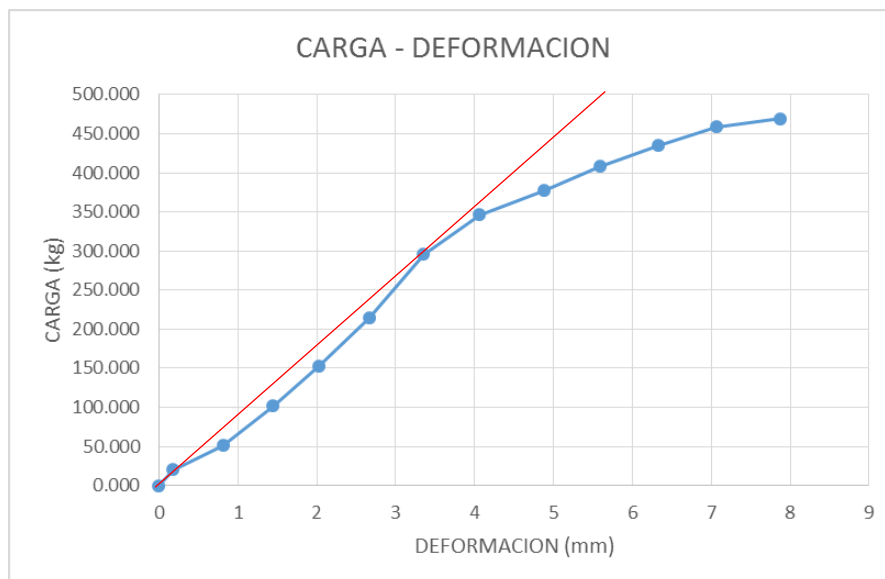
Probeta N-3

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	3- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	295.718
P (kg)	469.069
DI (cm)	0.33528

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	788.0359
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	496.8062
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	30252.7064

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.1778	20.591
3	0.8128	50.986
4	1.4478	101.972
5	2.032	152.957
6	2.667	214.140
7	3.3528	295.718
8	4.064	346.309
9	4.8768	376.901
10	5.588	407.886
11	6.3246	435.084
12	7.0612	458.872
13	7.874	469.069





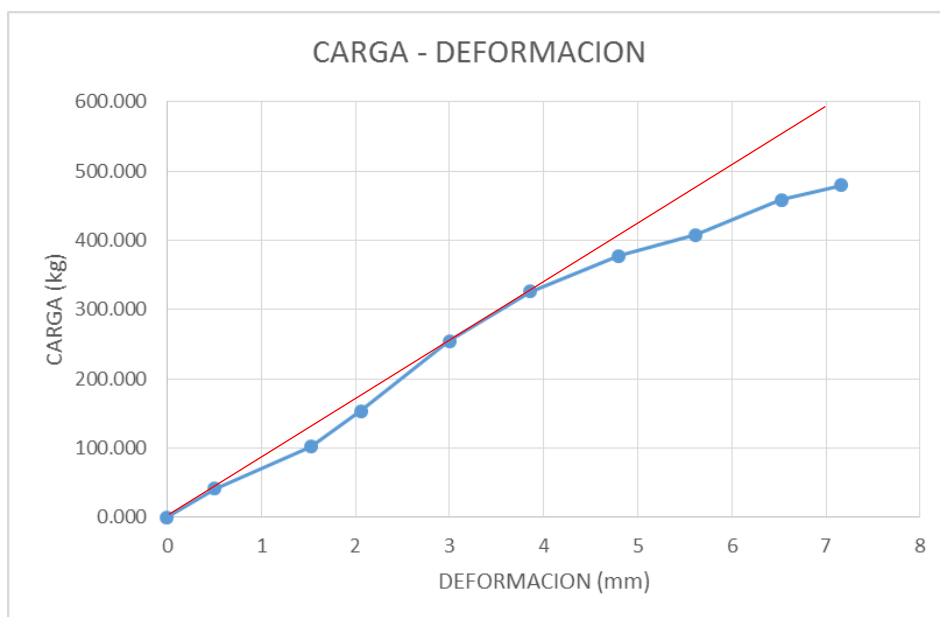
**Probeta N-4**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	4- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	254.929
P (kg)	479.267
DI (cm)	0.29972

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	818.2075
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	435.2163
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	29885.6442

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.508	40.789
3	1.524	101.972
4	2.0574	152.957
5	2.9972	254.929
6	3.8608	326.309
7	4.8006	377.295
8	5.6134	407.886
9	6.5278	458.872
10	7.1628	479.267





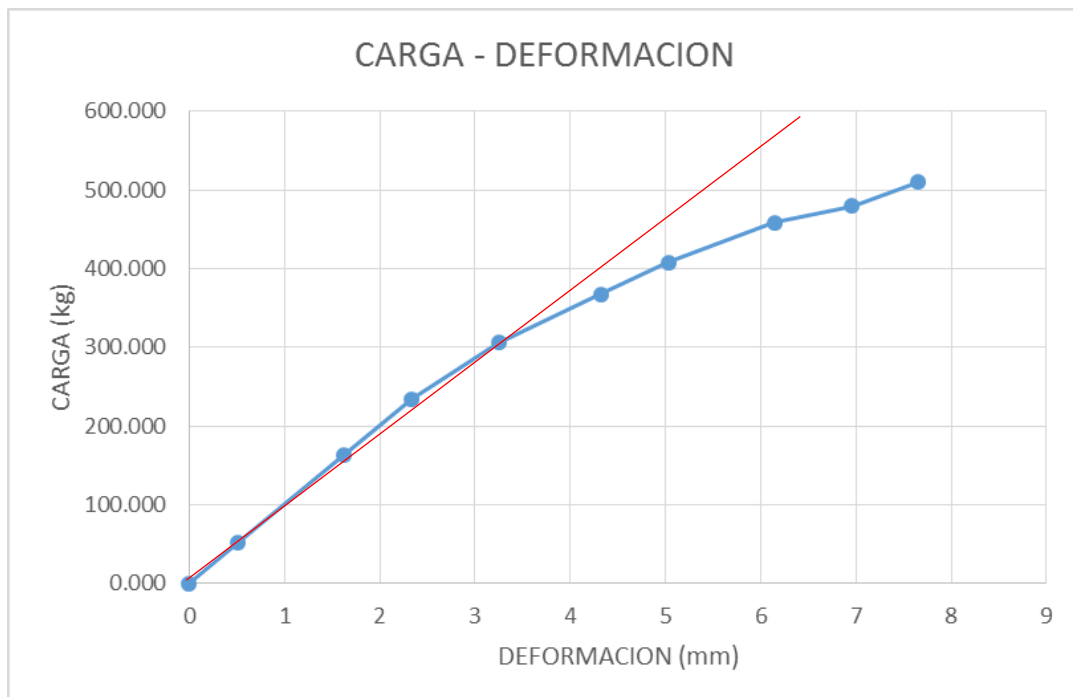
Probeta N-5

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	5- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P'(kg)	234.535
P (kg)	509.858
DI (cm)	0.23368

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	856.5614
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	394.0188
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34425.4985

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.508	50.986
3	1.6256	163.155
4	2.3368	234.535
5	3.2512	305.915
6	4.318	367.098
7	5.0292	407.886
8	6.1468	458.872
9	6.9596	479.267
10	7.6454	509.858



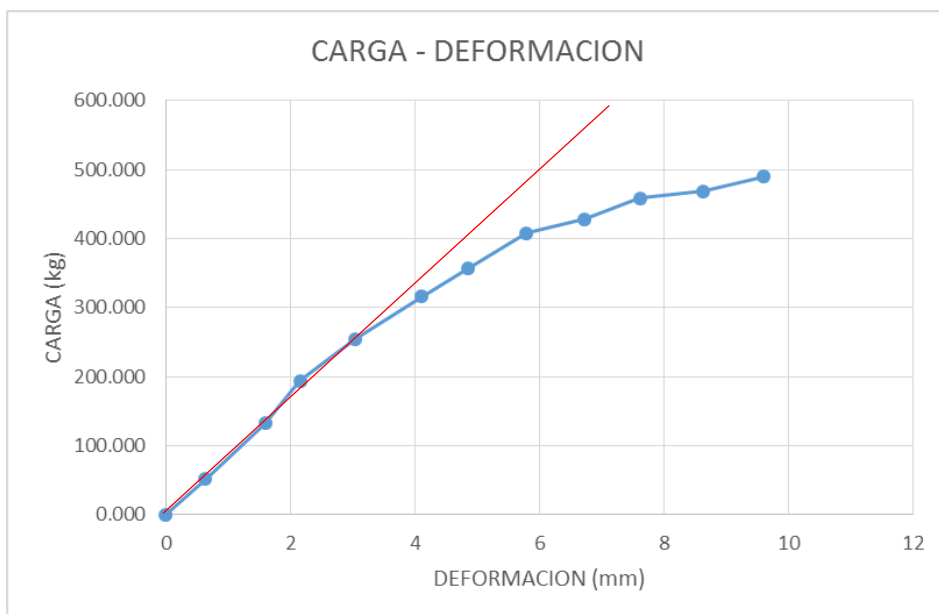
**Probeta N-6**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	6- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	254.929
P (kg)	489.464
DI (cm)	0.3048

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	822.2995
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	428.2807
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28687.8763

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	50.986
3	1.6002	132.563
4	2.159	193.746
5	3.048	254.929
6	4.1148	316.112
7	4.8514	356.901
8	5.7912	407.886
9	6.731	418.084
10	7.62	458.872
11	8.636	469.069
12	9.6012	489.464







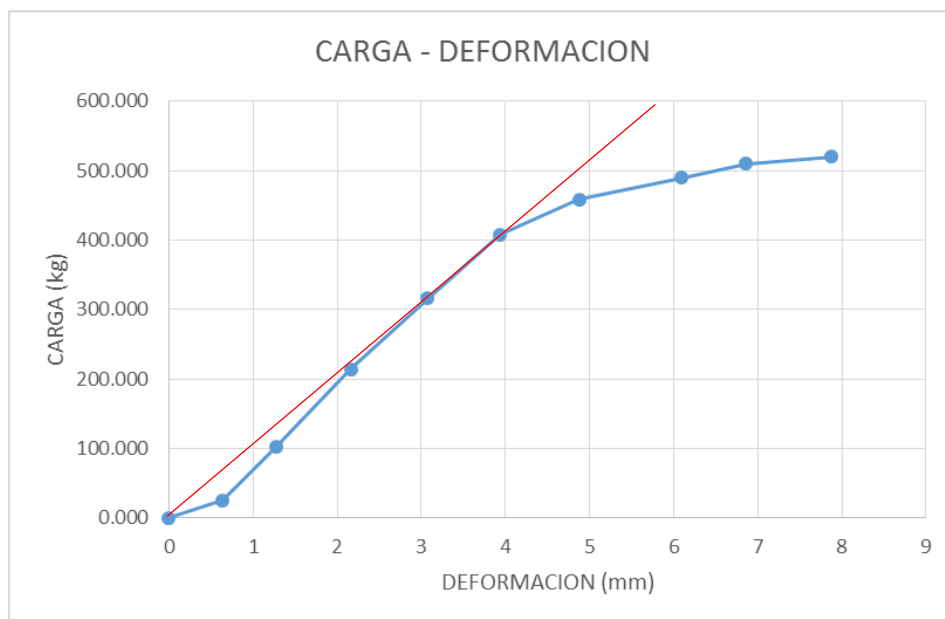
Probeta N-7

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	7- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	407.886
P (kg)	550.647
DI (cm)	0.3937

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	925.0870
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	685.2485
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	35535.9152

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	25.493
3	1.27	101.972
4	2.159	214.140
5	3.0734	316.112
6	3.937	407.886
7	4.8768	458.872
8	6.096	489.464
9	6.858	509.858
10	7.874	520.055
11	8.763	550.647



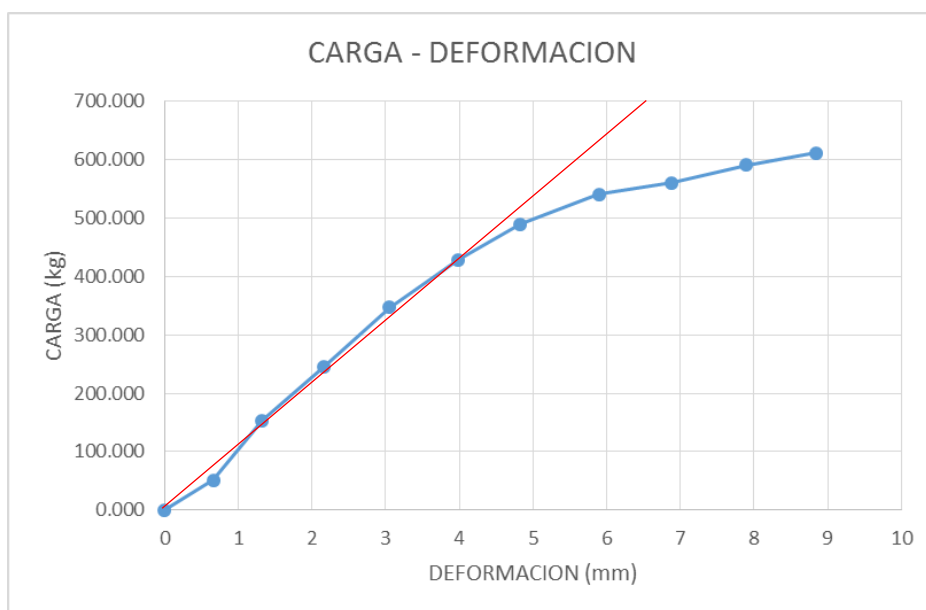
**Probeta N-8**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	8- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	428.281
P (kg)	611.83
DI (cm)	0.39878

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	1027.8744
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	719.5121
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	36837.4500

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.6604	50.986
3	1.3208	152.957
4	2.159	244.732
5	3.048	346.704
6	3.9878	428.281
7	4.826	489.464
8	5.8928	540.450
9	6.8834	560.844
10	7.8994	591.435
11	8.8392	611.830



**Probeta N-9**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	9- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	316.112
P (kg)	530.252
DI (cm)	0.3937

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	890.8234
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	531.0682
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27540.3647

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.8382	20.394
3	1.8288	71.380
4	2.921	193.746
5	3.937	316.112
6	5.0546	387.492
7	6.1976	469.069
8	7.366	509.858
9	8.509	530.252





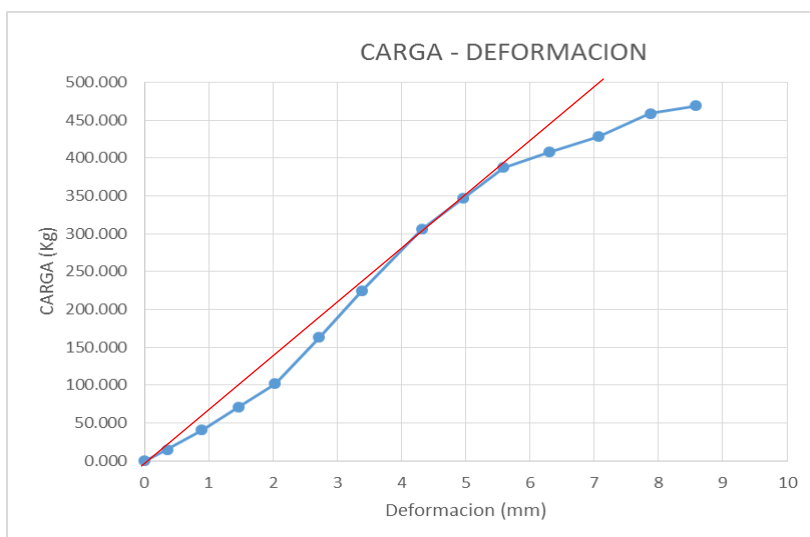
**Probeta N-10**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	10-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	387.492
P (kg)	463.971
DI (cm)	0.5588

<b>CÁLCULOS NUMÉRICOS</b>	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	779.4713
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	650.9866
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	23784.8525

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.3556	15.296
3	0.889	40.789
4	1.4732	71.380
5	2.032	101.972
6	2.7178	163.155
7	3.3782	224.338
8	4.318	305.915
9	4.953	346.704
10	5.588	387.492
11	6.2992	407.886
12	7.0612	428.281
13	7.874	458.872
14	8.5852	463.971





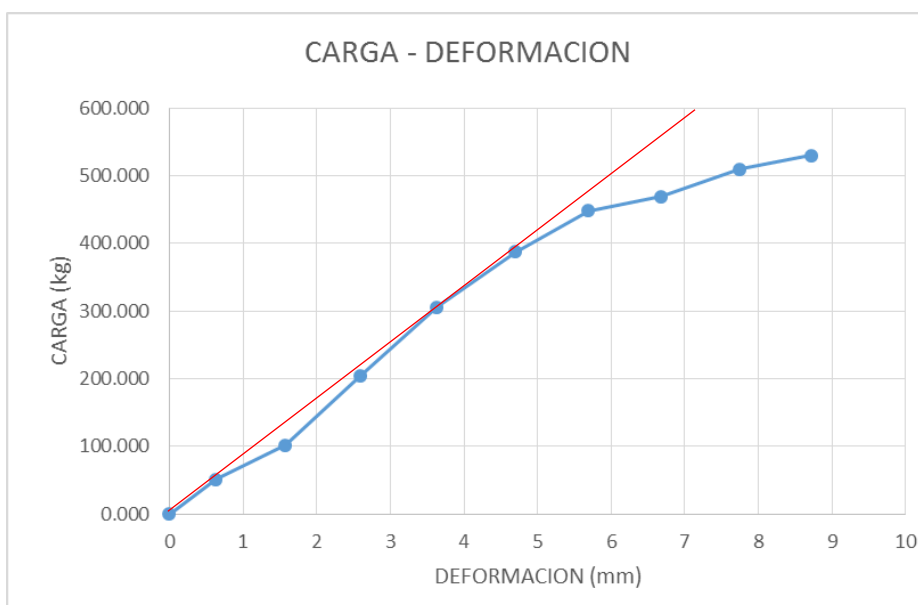
**Probeta N-11**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	19- Húmeda

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	387.492
P (kg)	550.647
DI (cm)	0.4699

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	925.0870
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	650.9866
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28284.6895

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	50.986
3	1.5748	101.972
4	2.5908	203.943
5	3.6322	305.915
6	4.699	387.492
7	5.6896	448.675
8	6.6802	469.069
9	7.747	509.858
10	8.7122	530.252
11	9.525	550.647





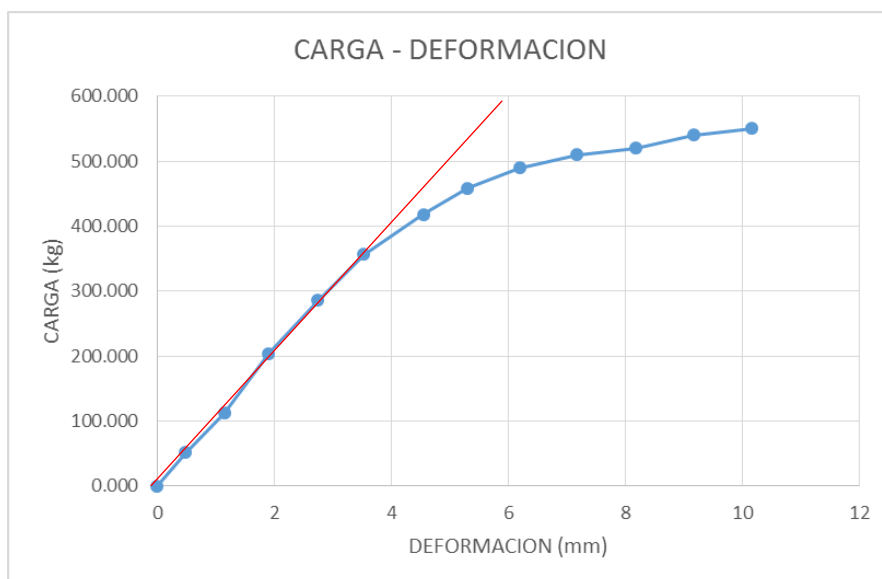
Probeta N-12

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	12- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	356.901
P (kg)	550.647
DI (cm)	0.35306

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	940.0679
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	609.3035
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	35518.8055

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.4826	50.986
3	1.143	112.169
4	1.905	203.943
5	2.7432	285.521
6	3.5306	356.901
7	4.5466	418.084
8	5.3086	458.872
9	6.1976	489.464
10	7.1755	509.858
11	8.1788	520.055
12	9.1694	540.450
13	10.16	550.647



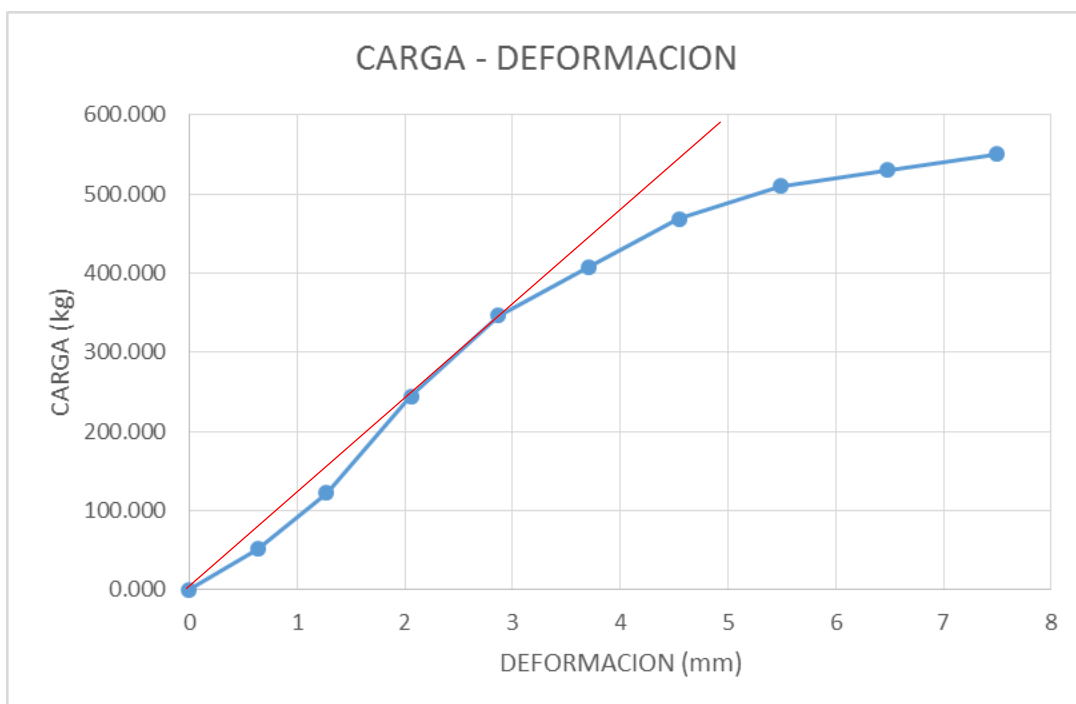
**Probeta N-13**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	13- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	346.704
P (kg)	550.647
DI (cm)	0.28702

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	940.0679
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	591.8952
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	42442.9728

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	50.986
3	1.27	122.366
4	2.0574	244.732
5	2.8702	346.704
6	3.7084	407.886
7	4.5466	469.069
8	5.4864	509.858
9	6.477	530.252
10	7.493	550.647





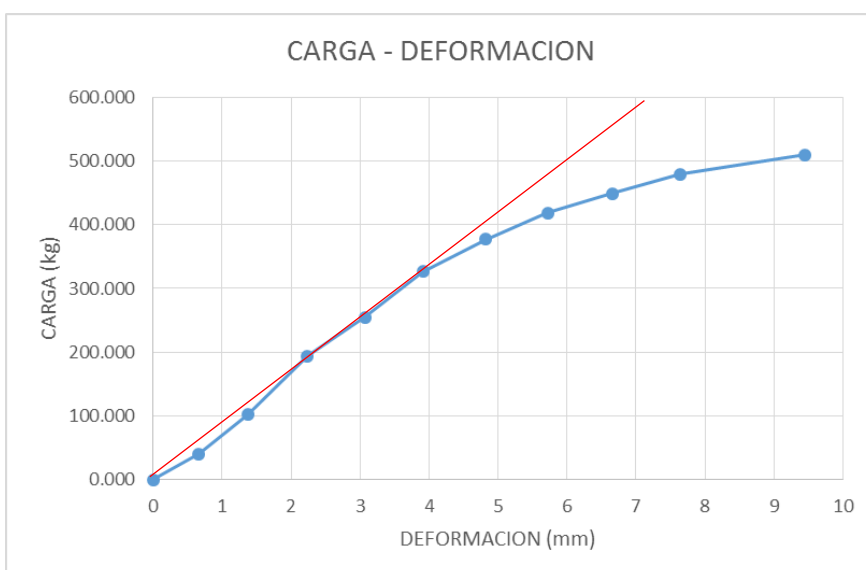
Probeta N-14

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	14- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	326.309
P (kg)	509.858
DI (cm)	0.39116

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	856.5614
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	548.1991
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28613.3518

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.6604	40.789
3	1.3716	101.972
4	2.2352	193.746
5	3.0734	254.929
6	3.9116	326.309
7	4.826	377.295
8	5.715	418.084
9	6.6548	448.675
10	7.6454	479.267
11	9.4488	509.858







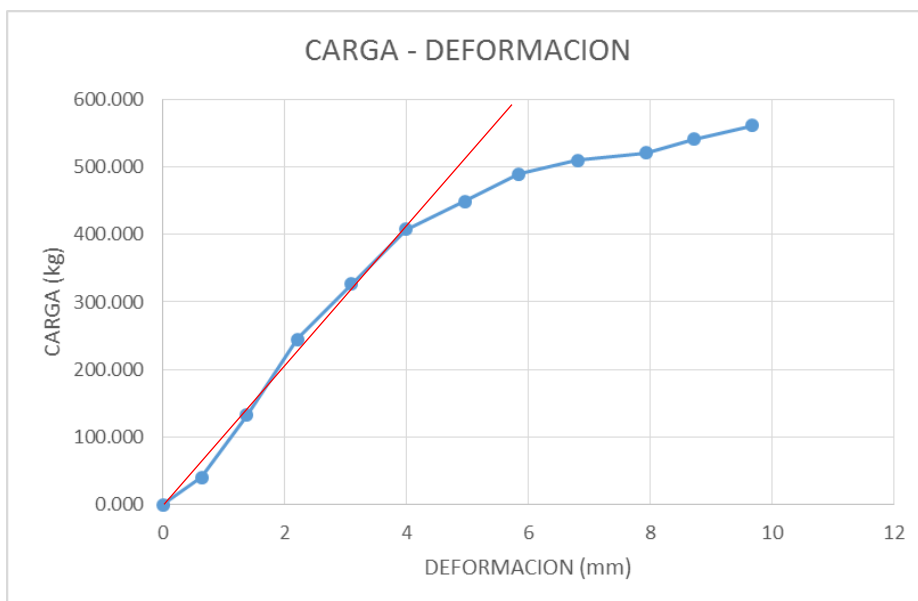
Probeta N-15

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	15- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	407.886
P (kg)	560.844
DI (cm)	0.39878

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	942.2179
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	685.2485
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	35083.2283

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	40.789
3	1.3716	132.563
4	2.2098	244.732
5	3.0988	326.309
6	3.9878	407.886
7	4.953	448.675
8	5.842	489.464
9	6.8072	509.858
10	7.9248	520.055
11	8.7122	540.450
12	9.6774	560.844



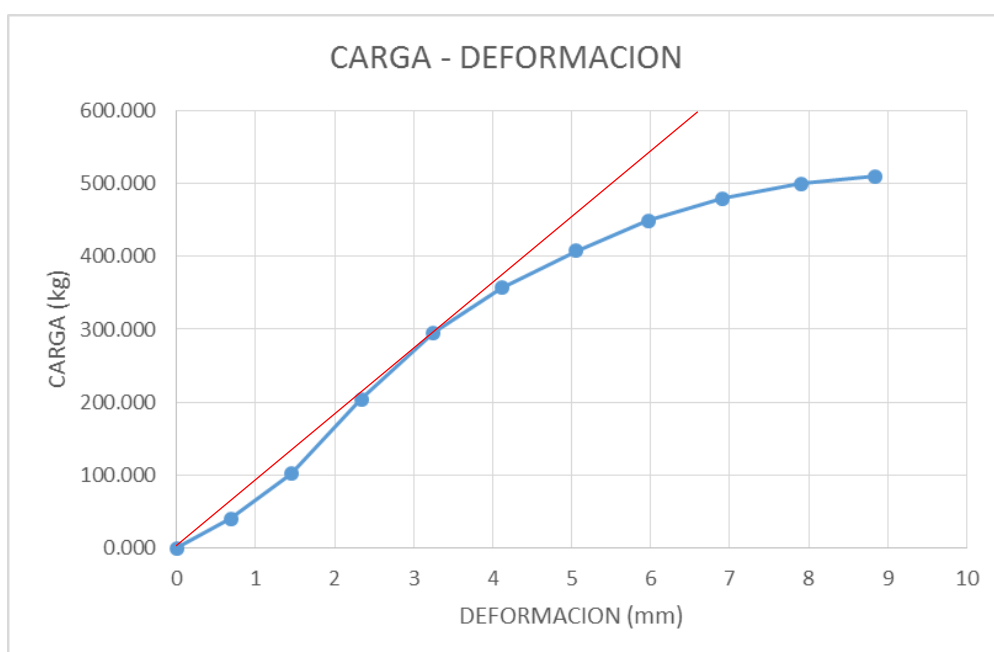
**Probeta N-16**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	16- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	295.718
P (kg)	509.858
DI (cm)	0.32512

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	870.4327
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	504.8516
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	31958.9997

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.6858	40.789
3	1.4478	101.972
4	2.3368	203.943
5	3.2512	295.718
6	4.1148	356.901
7	5.0546	407.886
8	5.969	448.675
9	6.9088	479.267
10	7.8994	499.661
11	8.8392	509.858



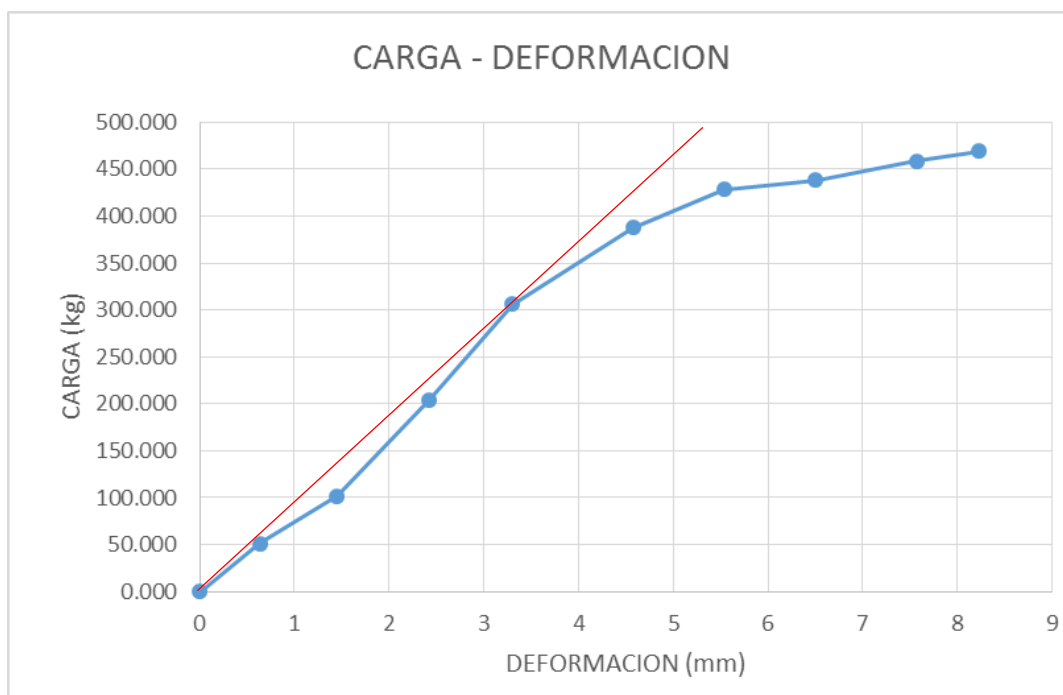
**Probeta N-17**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	17- Húmeda

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	469.069
DI (cm)	0.3302

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	788.0359
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	31777.3607

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	50.986
3	1.4478	101.972
4	2.4257	203.943
5	3.302	305.915
6	4.572	387.492
7	5.5372	428.281
8	6.5024	438.478
9	7.5692	458.872
10	8.2296	469.069





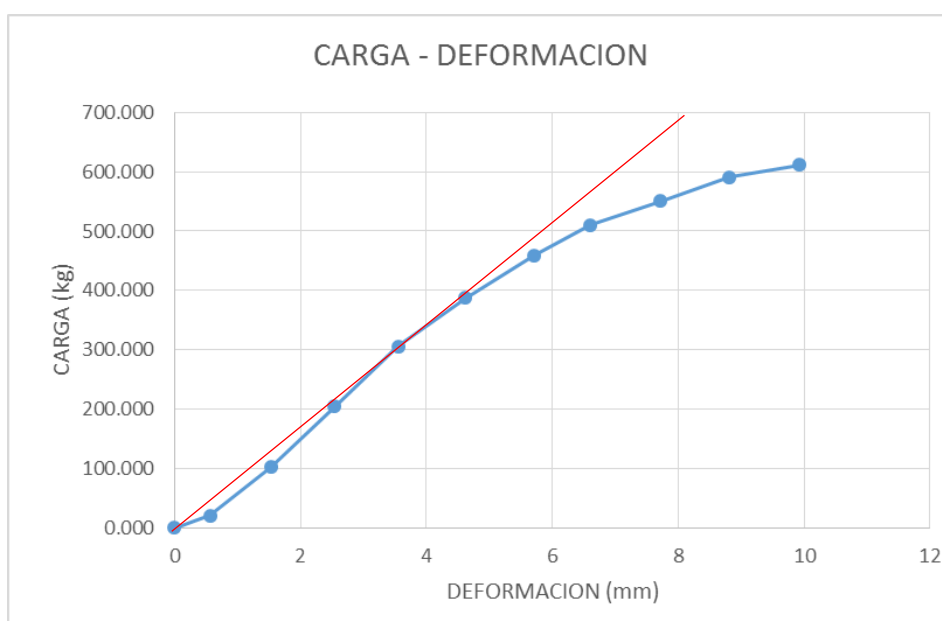
Probeta N-18

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	18- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	611.83
DI (cm)	0.3556

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	1027.8744
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	29507.5492

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.5588	20.394
3	1.524	101.972
4	2.54	203.943
5	3.556	305.915
6	4.6228	387.492
7	5.715	458.872
8	6.604	509.858
9	7.7216	550.647
10	8.8138	591.435
11	9.9314	611.830





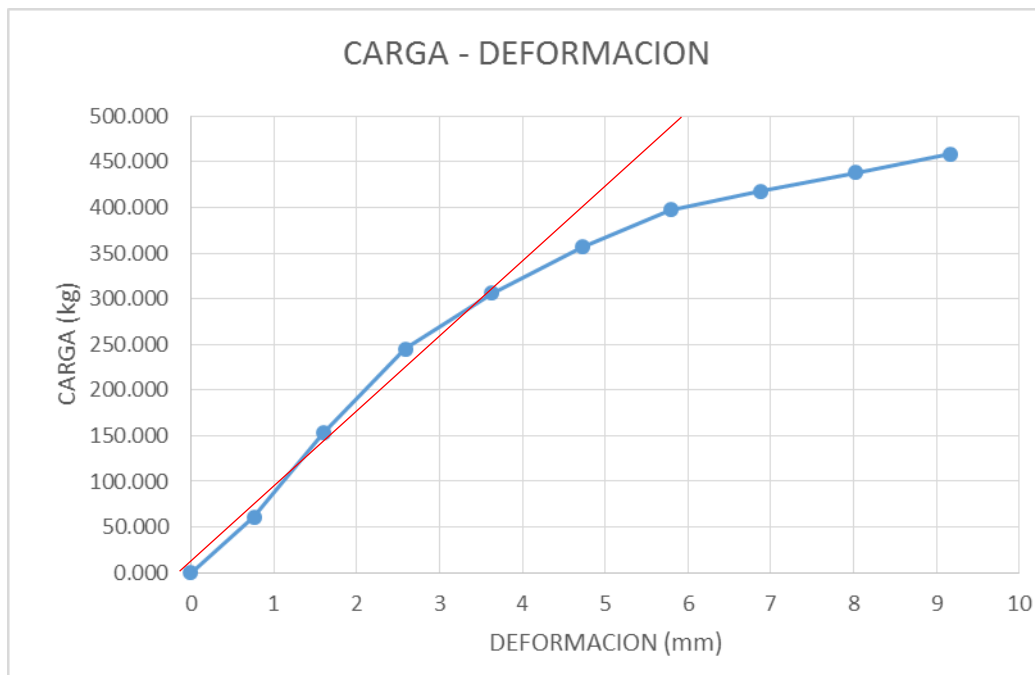
Probeta N-19

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	19- Húmeda

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	244.732
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.25908

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	783.3890
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	417.8079
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	33190.6666

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.762	61.183
3	1.6002	152.957
4	2.5908	244.732
5	3.6322	305.915
6	4.7244	356.901
7	5.7912	397.689
8	6.8834	418.084
9	8.0264	438.478
10	9.1694	458.872



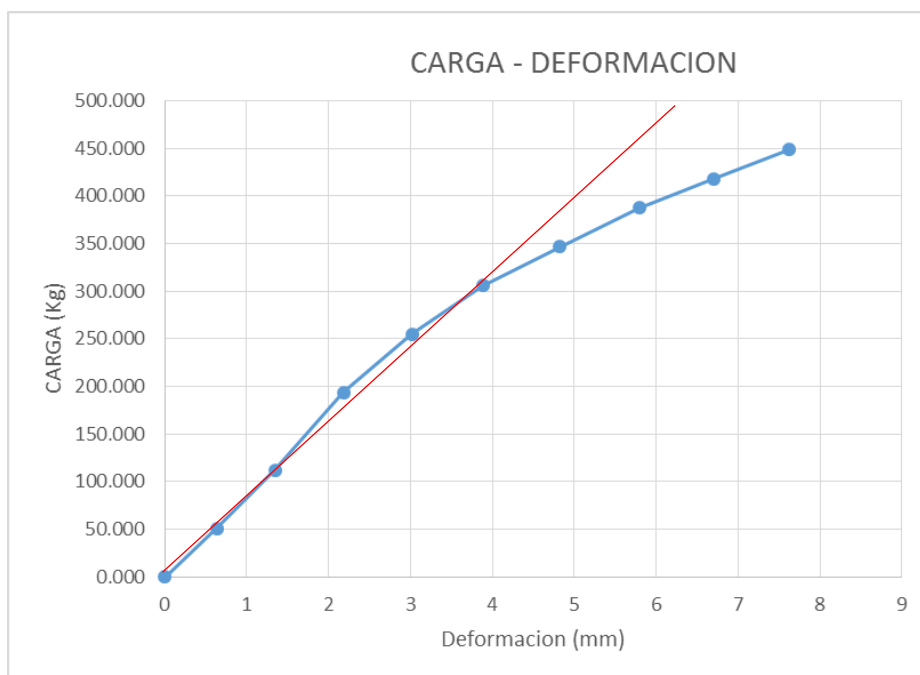
**Probeta N-20**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	20-Humedo

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	448.675
DI (cm)	0.38862

<b>CÁLCULOS NUMÉRICOS</b>	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	753.7740
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27000.3718

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.635	50.986
3	1.3462	112.169
4	2.1844	193.746
5	3.0226	254.929
6	3.8862	305.915
7	4.826	346.704
8	5.7912	387.492
9	6.7056	418.084
10	7.62	448.675





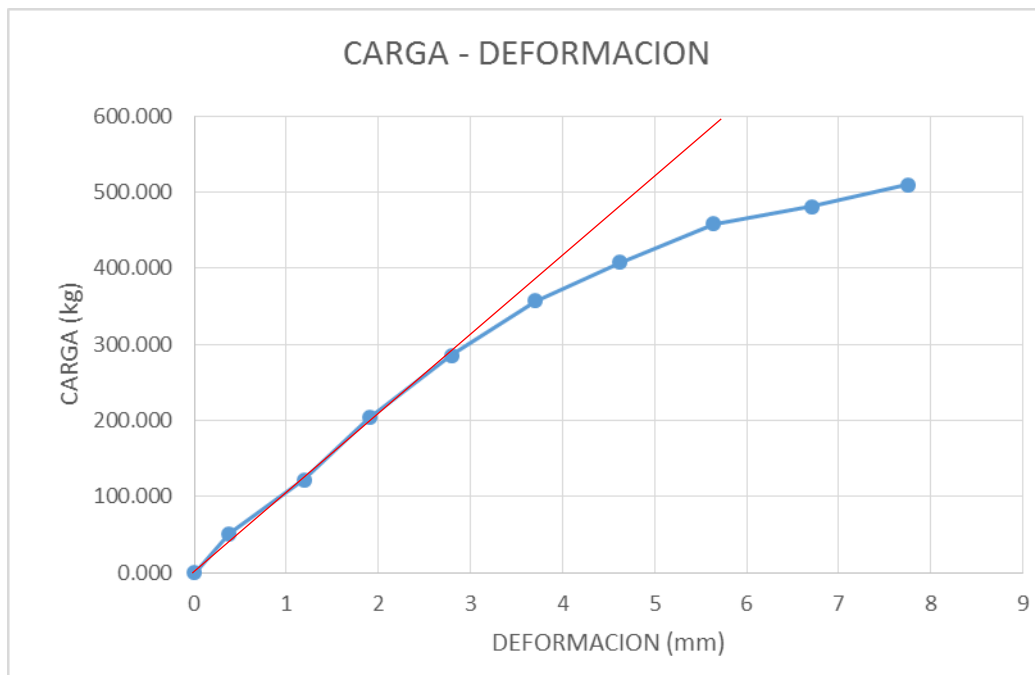
**Probeta N-1**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	1- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.51
P'(kg)	285.521
P (kg)	509.858
DI (cm)	0.2794

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	849.7498
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	475.8608
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34634.1582

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.381	50.986
3	1.1938	121.972
4	1.905	203.943
5	2.794	285.521
6	3.7084	356.901
7	4.6228	407.886
8	5.6388	458.872
9	6.7056	480.912
10	7.747	509.858





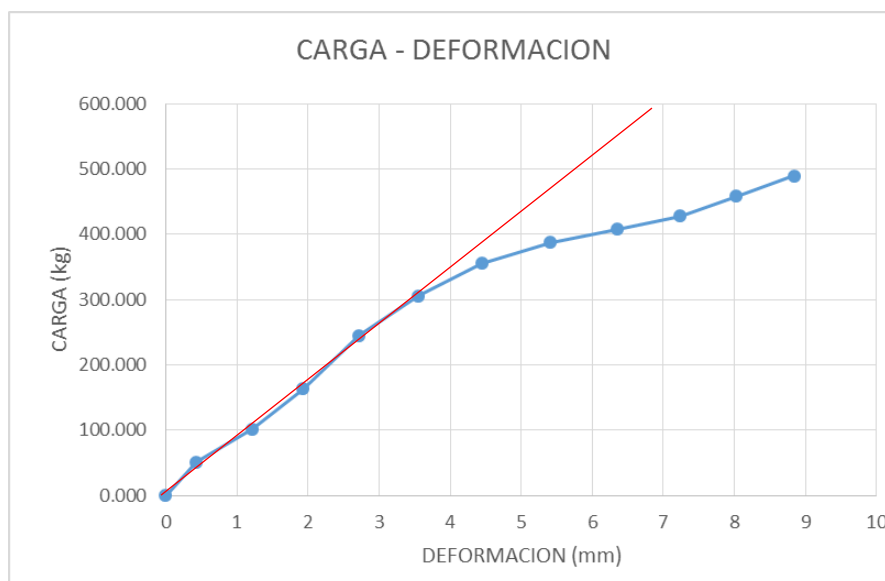
**Probeta N-2**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	2- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.51
P' (kg)	244.732
P (kg)	489.464
DI (cm)	0.27178

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	815.7604
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	407.8802
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	30518.7152

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0	0.000
3	0.4318	50.986
4	1.2192	101.972
5	1.9304	163.155
6	2.7178	244.732
7	3.556	305.915
8	4.445	355.881
9	5.4102	387.492
10	6.35	407.886
11	7.239	428.281
12	8.0264	458.872
13	8.8392	489.464







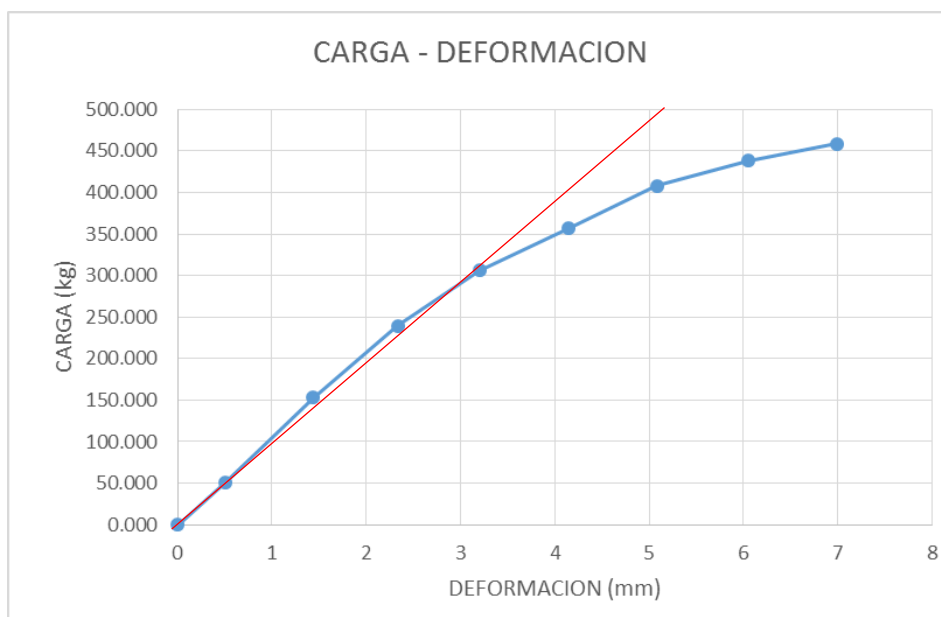
**Probeta N-3**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	3- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.32004

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	770.9050
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	32786.1658

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.508	50.986
3	1.4351	152.957
4	2.3368	239.633
5	3.2004	305.915
6	4.1402	356.901
7	5.08	407.886
8	6.0452	438.478
9	6.985	458.872





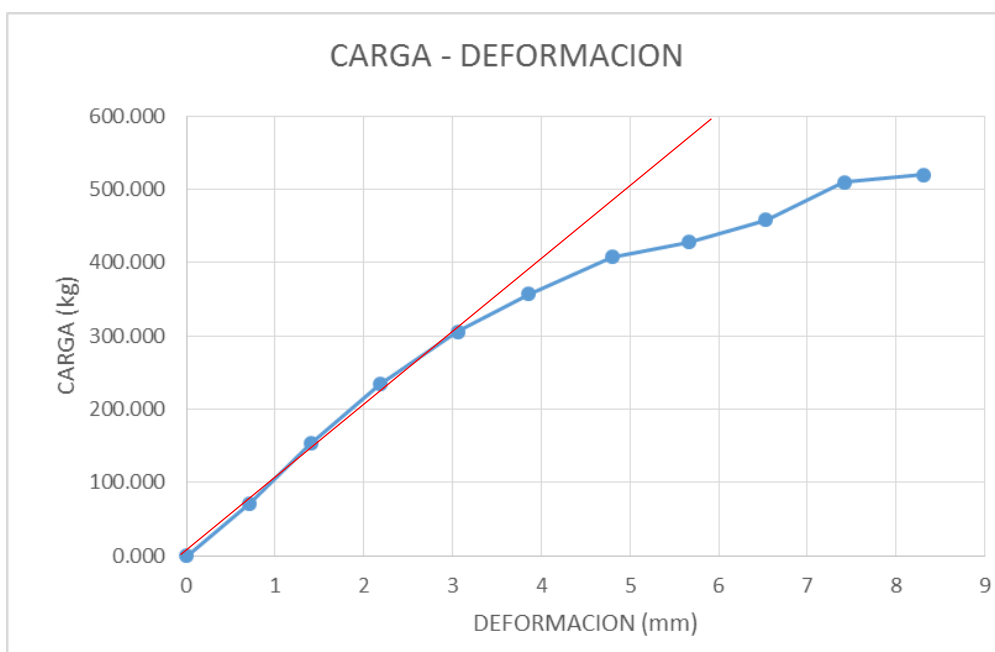
**Probeta N-4**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	4- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	520.055
DI (cm)	0.30607

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	873.6924
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	34282.6298

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.7112	71.380
3	1.40208	152.957
4	2.1844	234.535
5	3.0607	305.915
6	3.8608	356.901
7	4.8006	407.886
8	5.6642	428.281
9	6.5278	458.872
10	7.4168	509.858
11	8.3058	520.055



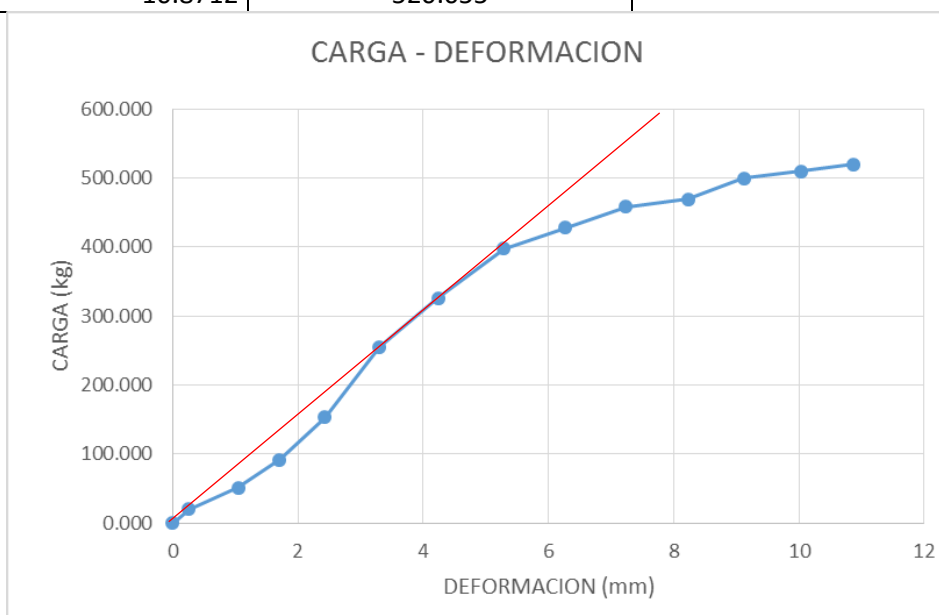
Probeta N-5

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	5- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	326.309
P (kg)	520.055
DI (cm)	0.42418

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	887.8410
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	557.0767
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	27029.4973

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.254	20.394
3	1.0414	50.986
4	1.7018	91.380
5	2.4257	152.957
6	3.302	254.929
7	4.2418	326.309
8	5.2832	397.689
9	6.2738	428.281
10	7.239	458.872
11	8.2296	469.069
12	9.1186	499.661
13	10.033	509.858
14	10.8712	520.055





Probeta N-6

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	6- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	260.028
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.55372

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	783.3890
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	443.9214
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	16500.1924

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.9398	25.493
3	1.905	61.183
4	2.7432	91.774
5	3.6068	142.760
6	4.572	193.746
7	5.5372	260.028
8	6.5024	305.915
9	7.5692	346.704
10	8.5598	377.295
11	9.6266	418.290
12	10.668	458.872





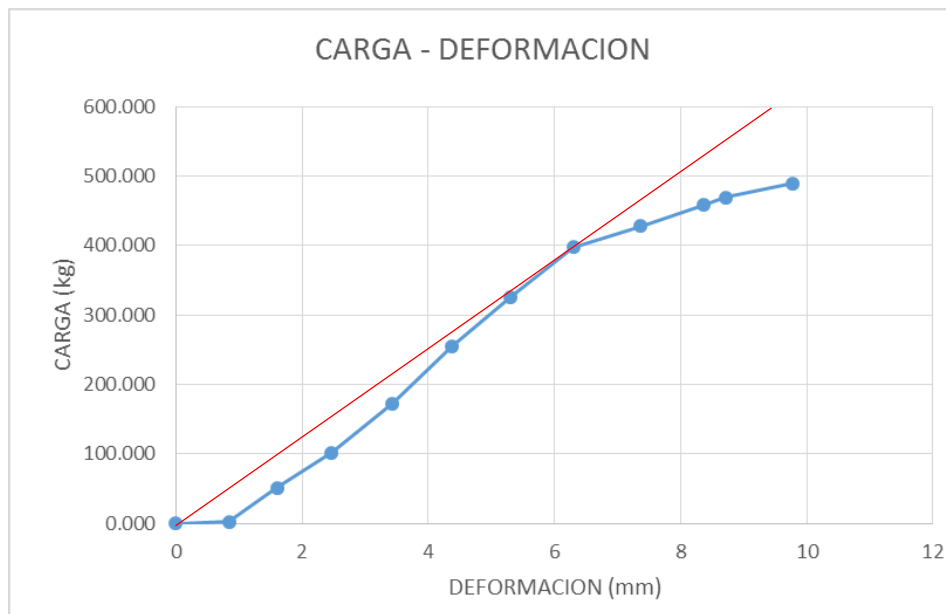
Probeta N-7

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	7- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P'(kg)	326.309
P (kg)	489.464
DI (cm)	0.53086

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	822.2995
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	548.1991
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	21083.5224

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.8382	2.549
3	1.6002	50.986
4	2.4638	101.972
5	3.429	172.957
6	4.3815	254.929
7	5.3086	326.309
8	6.2992	397.689
9	7.366	428.281
10	8.3566	458.872
11	8.7122	469.069
12	9.779	489.464



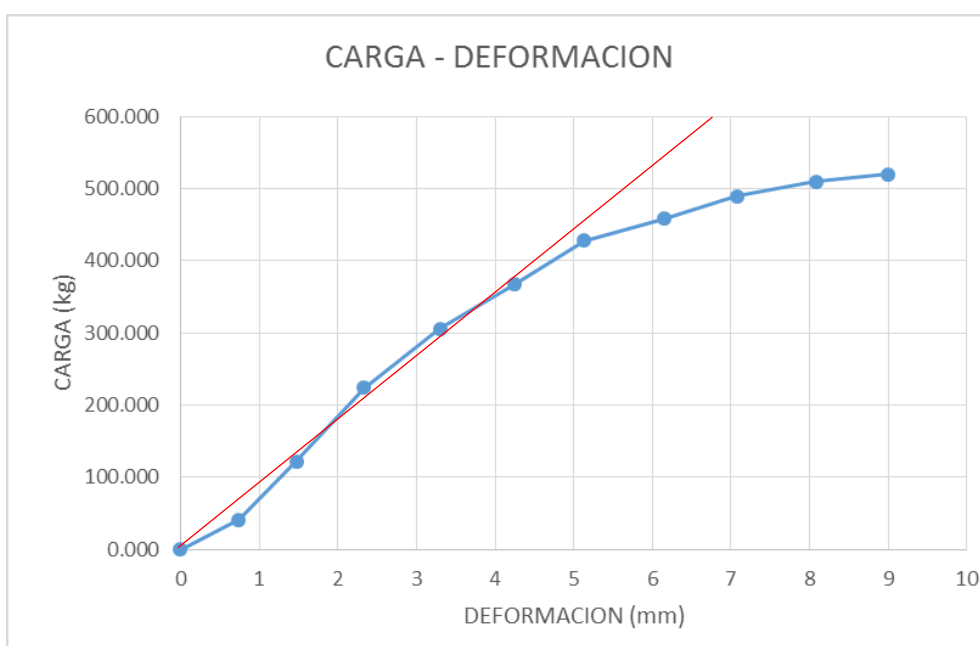
**Probeta N-8**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	8- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	367.098
P (kg)	520.055
DI (cm)	0.42418

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	873.6924
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	616.7246
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	29684.2411

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.7366	40.789
3	1.4732	122.366
4	2.3368	224.338
5	3.302	305.915
6	4.2418	367.098
7	5.1308	428.281
8	6.1468	458.872
9	7.0739	489.464
10	8.0772	509.858
11	8.9916	520.055





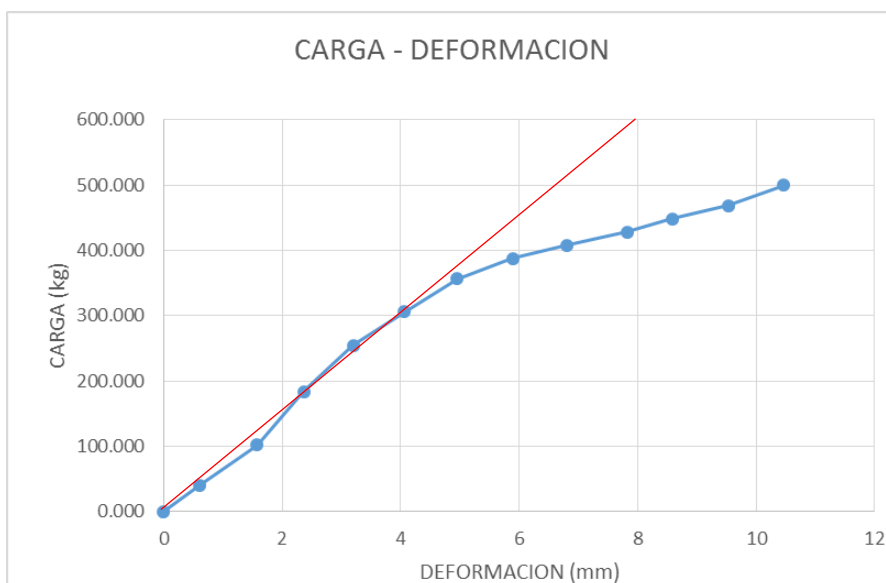
Probeta N-9

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	9- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	499.661
DI (cm)	0.4064

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	839.4305
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	25819.1056

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.6096	40.789
3	1.5748	101.972
4	2.3622	183.549
5	3.2004	254.929
6	4.064	305.915
7	4.953	356.901
8	5.8928	387.492
9	6.8072	407.886
10	7.8232	428.281
11	8.5852	448.675
12	9.525	469.069
13	10.4648	499.661





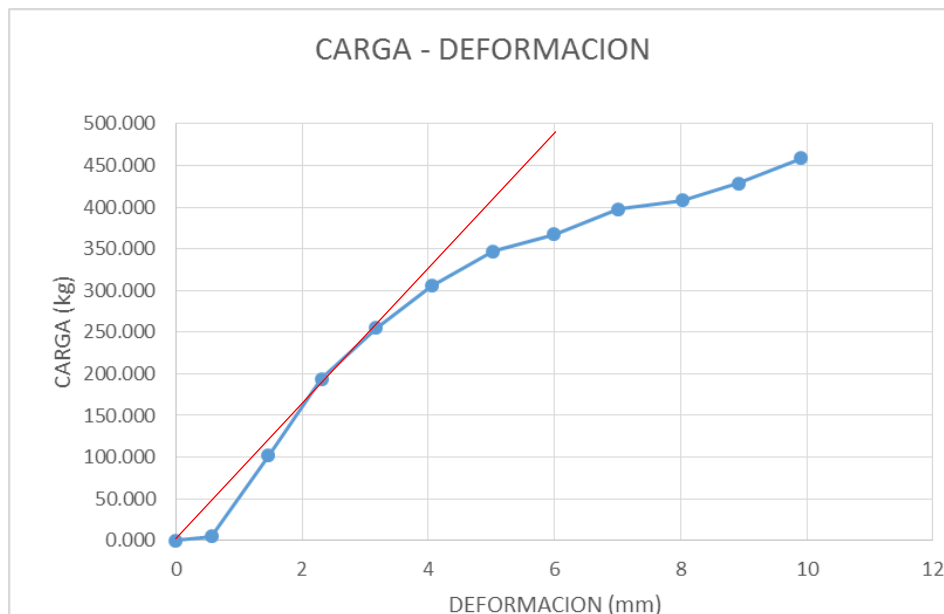
**Probeta N-10**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	10- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	254.929
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.3175

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	783.3890
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	435.2163
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28212.0481

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.5588	5.099
3	1.4605	101.972
4	2.3114	193.746
5	3.175	254.929
6	4.0513	305.915
7	5.0292	346.704
8	5.9944	367.098
9	7.0104	397.689
10	8.0264	407.886
11	8.9154	428.281
12	9.906	458.872







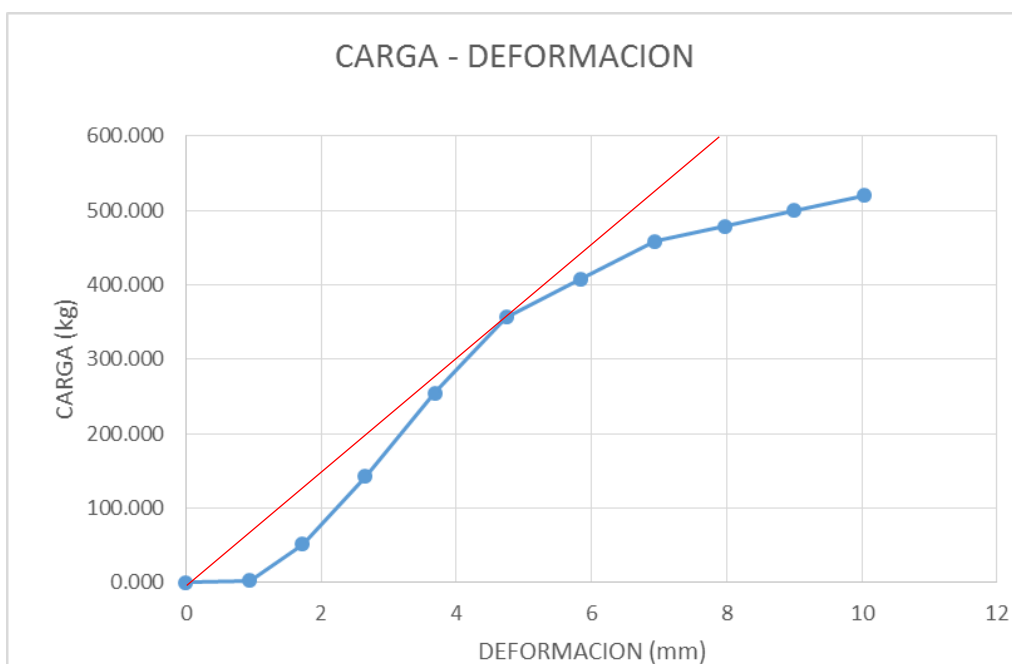
**Probeta N-11**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	11- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	356.901
P (kg)	520.055
DI (cm)	0.47371

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	873.6924
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	599.5937
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	25842.1910

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.9398	2.549
3	1.7272	50.986
4	2.6543	142.760
5	3.683	254.929
6	4.7371	356.901
7	5.842	407.886
8	6.9342	458.872
9	7.9756	479.267
10	8.9916	499.661
11	10.033	520.055



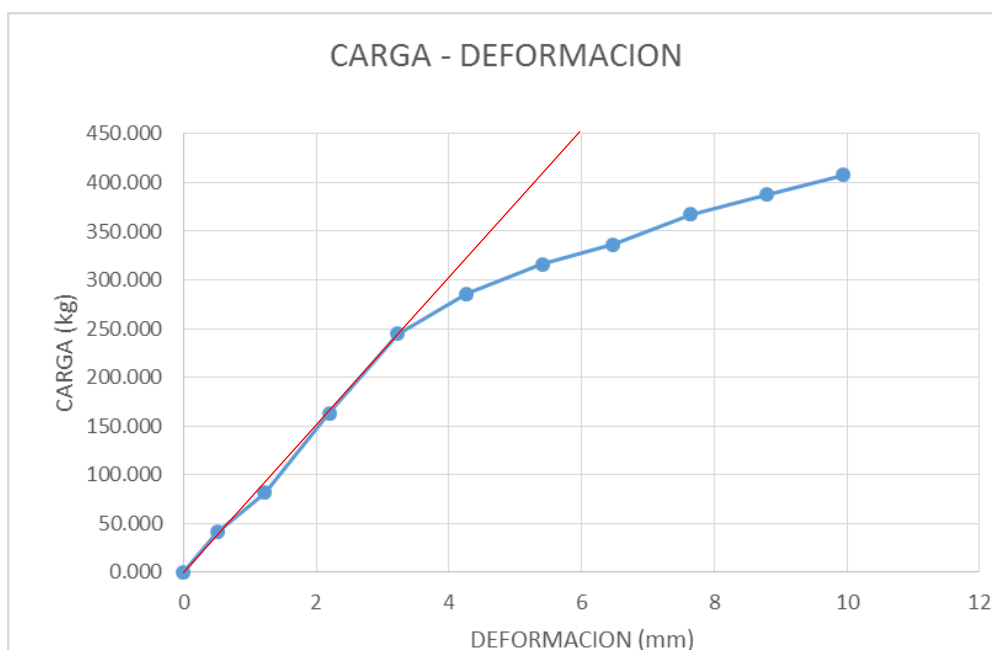
**Probeta N-12**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	12- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.48
P' (kg)	244.732
P (kg)	407.886
DI (cm)	0.32258

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	696.3454
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	417.8079
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	26657.0708

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.508	40.986
3	1.2192	81.577
4	2.1971	163.155
5	3.2258	244.732
6	4.2672	285.521
7	5.4102	315.915
8	6.477	336.506
9	7.6454	367.098
10	8.7884	387.492
11	9.9441	407.886



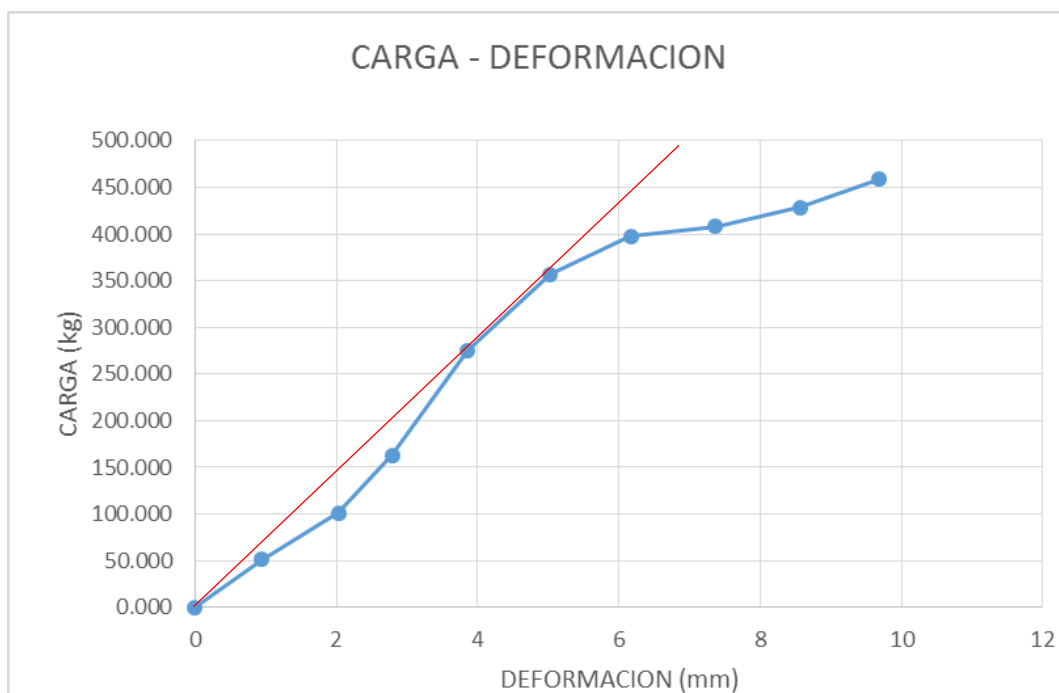
**Probeta N-13**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	13- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.48
Altura (cm)	2.5
P´(kg)	275.323
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.38608

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	777.1219
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	466.2728
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	24657.4202

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.9398	50.986
3	2.032	101.380
4	2.794	163.155
5	3.8608	275.323
6	5.0292	356.901
7	6.1722	397.689
8	7.366	407.886
9	8.5598	428.281
10	9.6774	458.872



**Probeta N-14**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	14- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	254.929
P (kg)	499.661
DI (cm)	0.35052

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	839.4305
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	428.2807
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	24945.9794

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.9906	25.493
3	1.8288	81.577
4	2.667	173.352
5	3.5052	254.929
6	4.3434	305.915
7	5.207	346.704
8	6.2992	387.492
9	7.0612	418.084
10	8.001	448.675
11	8.9916	479.267
12	10.033	499.661





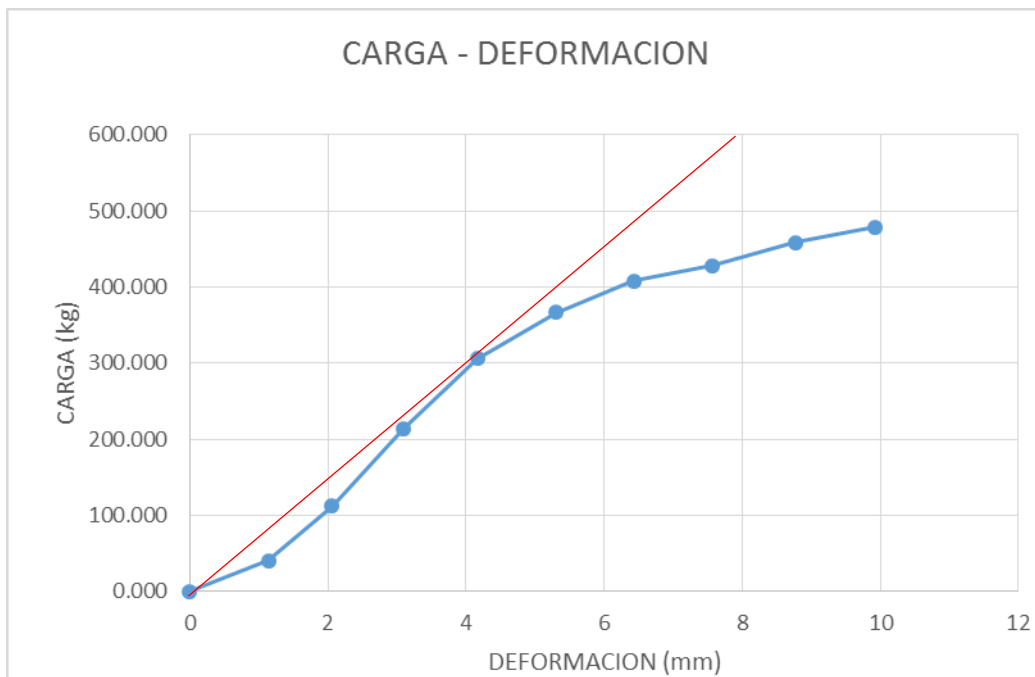
**Probeta N-15**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	15- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	305.915
P (kg)	479.267
DI (cm)	0.41656

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	805.1686
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	513.9372
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	25189.3713

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	1.143	40.789
3	2.0574	112.169
4	3.0988	214.140
5	4.1656	305.915
6	5.3086	367.098
7	6.4262	407.886
8	7.5692	428.281
9	8.763	458.872
10	9.9314	479.267





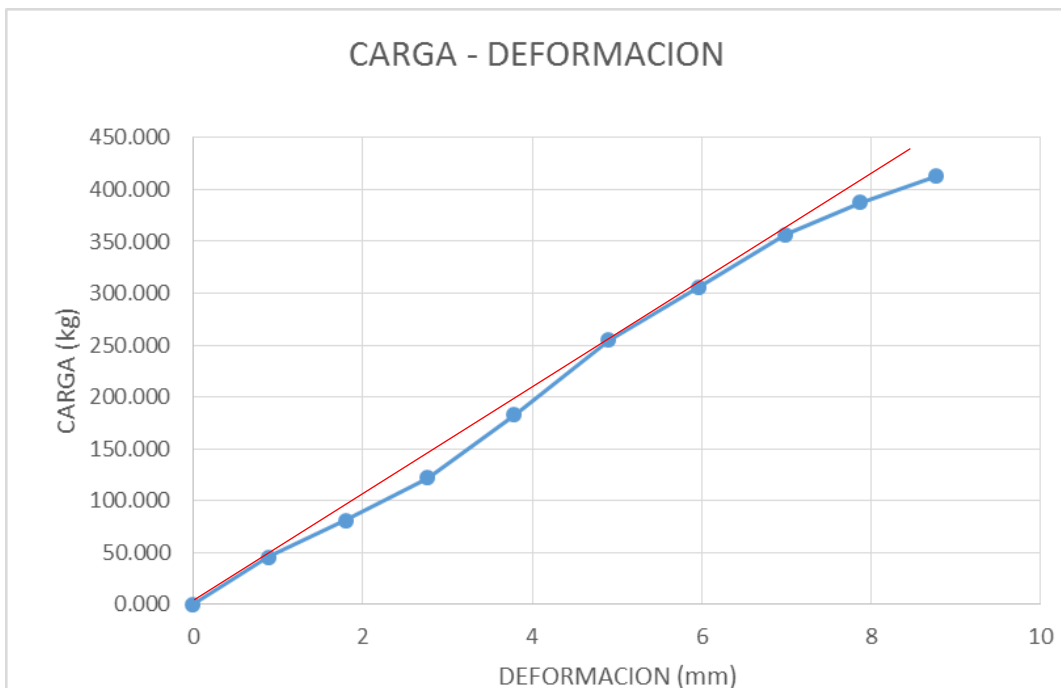
Probeta N-16

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	16- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.48
Altura (cm)	2.5
P'(kg)	254.929
P (kg)	412.985
DI (cm)	0.49022

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	699.4101
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	431.7346
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	17980.8685

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.889	45.493
3	1.8034	80.986
4	2.7686	121.774
5	3.7846	182.957
6	4.9022	254.929
7	5.969	305.915
8	6.985	356.901
9	7.874	387.492
10	8.763	412.985





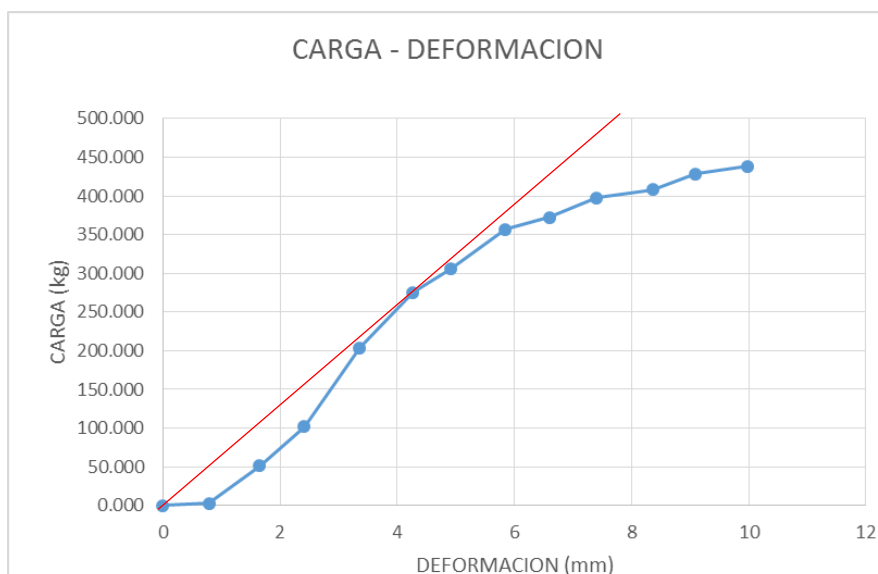
Probeta N-17

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	17- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	275.323
P (kg)	438.478
DI (cm)	0.42672

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	736.6430
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	462.5426
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	22130.6217

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.7874	2.549
3	1.651	50.986
4	2.413	101.972
5	3.3528	203.943
6	4.2672	275.323
7	4.9022	305.915
8	5.842	356.901
9	6.5913	372.196
10	7.4041	397.689
11	8.3566	407.886
12	9.0932	428.281
13	9.9822	438.478





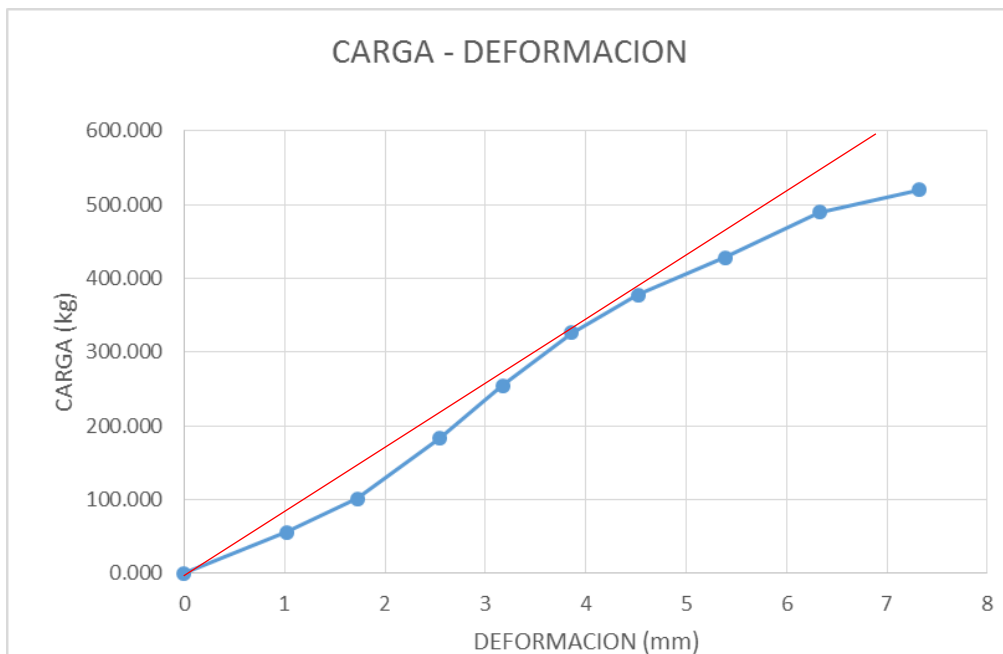
Probeta N-18

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	18- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.52
P'(kg)	326.309
P (kg)	520.055
DI (cm)	0.38608

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	859.8793
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	539.5321
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	28305.0725

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	1.016	55.690
3	1.7272	101.183
4	2.54	182.760
5	3.175	254.929
6	3.8608	326.309
7	4.5212	377.295
8	5.3848	428.281
9	6.3246	489.464
10	7.3152	520.055





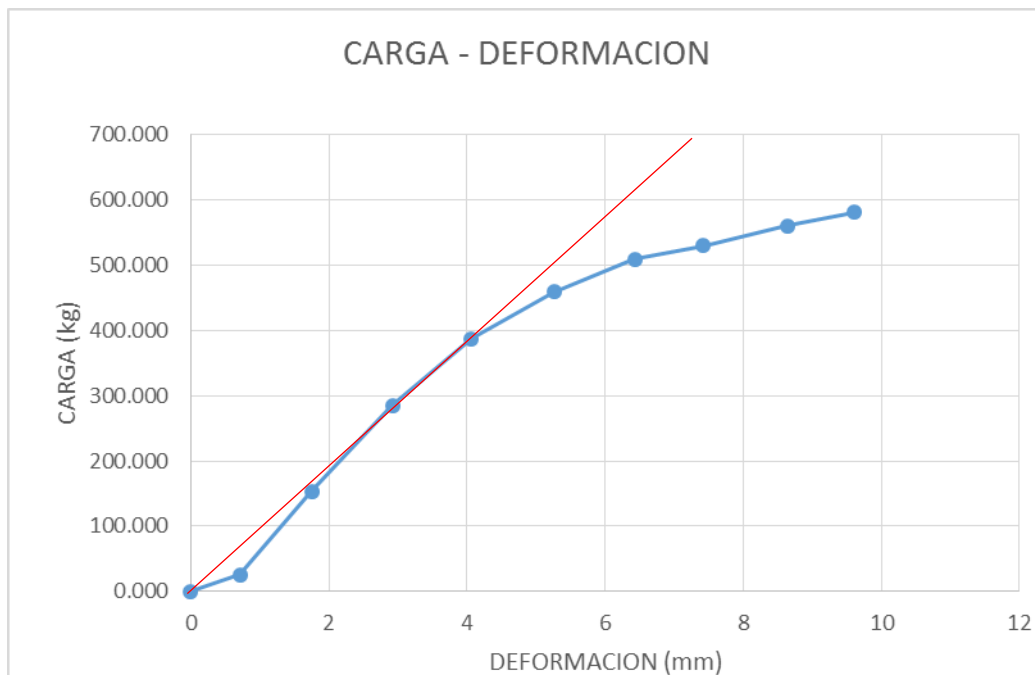
**Probeta N-19**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	19- Seco

ESTADO	
DATOS DE LA PROBETA	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.51
Altura (cm)	2.52
P' (kg)	387.492
P (kg)	581.238
DI (cm)	0.4064

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	957.2128
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	638.1419
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	31804.4473

	DEFORMACION (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	0.7112	25.493
3	1.7526	152.957
4	2.921	285.521
5	4.064	387.492
6	5.2578	458.872
7	6.4262	509.858
8	7.4168	530.252
9	8.636	560.844
10	9.6012	581.238



**Probeta N-20**

FECHA	08/04/2016
N° DE PROBETA	20- Seco

ESTADO	
<b>DATOS DE LA PROBETA</b>	
Luz (cm)	17.5
Ancho (cm)	2.5
Altura (cm)	2.5
P' (kg)	244.732
P (kg)	458.872
DI (cm)	0.43307

CÁLCULOS NUMÉRICOS	
Esf de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	770.9050
Esf limite propor (kg/cm <sup>2</sup> )	411.1498
Modu de elastic (kg/cm <sup>2</sup> )	19383.2581

	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kg)
1	0	0.000
2	1.016	25.493
3	1.905	50.986
4	2.6162	91.577
5	3.4036	152.957
6	4.3307	244.732
7	5.2832	305.915
8	6.1722	356.704
9	7.0612	397.689
10	8.001	417.886
11	8.9916	438.281
12	10.033	458.872

