

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
ELEMENTOS DE MADERA ESTRUCTURAL LAMINADA TIPO SANDWICH
DOBLE SOMETIDOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN”**

TESIS PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

JOHAN ALFREDO EDQUÉN PÉREZ

Asesor:

M. Cs. Ing. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS

Cajamarca – Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by
JOHAN ALFREDO EDQUEN PEREZ
Todos los derechos reservados.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por haberme permitido la vida hasta ahora, agradezco a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, a mis docentes, por todas sus enseñanzas y el apoyo brindado para abrirme paso hacia el desarrollo profesional.

Así mismo agradezco a mis padres Aladino y Marilú, a mi asesor M. Cs. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas por aceptar asesorar y apoyar esta investigación, a la Institución ADEFOR y especialmente a quién en vida fue el M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza.

Esta tesis va dedicada a mi madre por ejemplo y amor, a mi padre por su apoyo incondicional, a mi hermano, demás familiares y a mis grandes amigos quienes me brindan cada día su apoyo, sacrificio y dedicación; ustedes son las razones más grandes que tengo para mejorar, también al M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza, inicial asesor de esta investigación quien no sólo me brindo conocimientos y guía, sino también una amistad sincera.

Johan E.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema de investigación	5
1.4 Hipótesis	5
1.5 Justificación	5
1.5.1 Justificación teórica	5
1.5.2 Justificación técnica	5
1.5.3 Justificación social	6
1.6 Delimitación de la investigación	6
1.7 Objetivos	7
1.7.1 Objetivo general	7
1.7.2 Objetivos específicos	7
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes teóricos	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.2 Bases teóricas	10

2.2.1	La madera.	10
2.2.2	La madera como materia prima.	13
2.2.3	La madera como elemento estructural en la construcción.	14
2.2.4	Ejes de la madera.	15
2.2.5	Propiedades de la madera.	17
2.2.6	Clasificación de la madera estructural para garantizar su calidad.	26
2.2.7	Madera laminada.	30
2.2.8	Pino radiata.	35
2.3	Base normativa para el desarrollo de la investigación.....	37
2.3.1	Base normativa para determinación de propiedades físicas de la madera.	37
2.3.2	Base normativa para determinación de propiedades mecánicas de la madera. ..	37
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1	Ubicación geográfica donde se realizó la investigación.	38
3.1.1	Ubicación geográfica de ADEFOR.	38
3.1.2	Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	40
3.2	Tipo, nivel, análisis y método de investigación.....	42
3.3	Población, muestra y unidad de observación.	42
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	44
3.4.1	Técnicas	44
3.4.2	Instrumentos	44
3.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.	44
3.6	Maquinaria, equipos herramientas y materiales.	45
3.6.1	Maquinaria.	45
3.6.2	Equipo.....	45
3.6.3	Herramientas.....	46

3.6.4	Materiales e insumos.	46
3.7	Diseño de las vigas.	48
3.8	Determinación de las propiedades físicas de la madera.	49
3.8.1	Determinación del contenido de humedad (CH).	49
3.8.2	Determinación de densidad.....	50
3.9	Determinación de las propiedades mecánicas de la madera.	52
3.9.1	Determinación de flexión estática en las vigas laminadas y macizas.....	52
3.9.2	Flexión estática en probetas estándar	52
3.9.3	Determinación de la resistencia a compresión de columnetas.....	55
3.10	Resultados.....	58
3.10.1	Resultados del ensayo propiedades físicas.	58
3.10.2	Resultados del ensayo de flexión estática – probetas estándar.....	61
3.10.3	Resultados del ensayo de flexión estática – vigas.	63
3.10.4	Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra – columnetas.	65
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		67
4.1	Análisis de los resultados de los ensayos mecánicos de los elementos laminados.	67
4.1.1	Análisis resultados vigas.....	67
4.1.2	Análisis resultados columnetas.....	68
4.2	Análisis de los resultados de los ensayos físicos.	69
4.2.1	Contenido de humedad	69
4.2.2	Densidad básica	69
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		70
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Recomendaciones	71

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	77
Anexo 1. Panel fotográfico.....	77
Anexo 2. Diseño de vigas laminadas encoladas rectas – NCh 2165 of 91.....	86
Anexo 3. Ensayos para determinar el contenido de humedad de la madera	94
Anexo 4. Ensayos para determinar la densidad básica de madera.	99
Anexo 5. Ensayos a flexión estática de las probetas estándar – NTP 251.011.	104
Anexo 6. Ensayos a flexión estática de las vigas macizas – NTP 251.011.....	119
Anexo 7. Ensayos a flexión estática de las vigas laminadas – NTP 251.011.....	124
Anexo 8. Ensayos a compresión pura de las columnetas macizas – NTP 251.014.....	129
Anexo 9. Ensayos a compresión pura de las columnetas laminadas – NTP 251.014. .	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área plantada por especie (Granja Porcón).....	2
Tabla 2. Área plantada por especie (ADEFOR).....	3
Tabla 3. Clasificación de la madera por grupos según su densidad básica	18
Tabla 4. Reglas de clasificación visual para madera estructural.	27
Tabla 5. Descripción taxonómica del pino radiata	36
Tabla 6. Ubicación geográfica de ADEFOR.....	38
Tabla 7. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.	40
Tabla 8. Resultados contenido de humedad y densidad básica probetas estándar.	58
Tabla 9. Resultados contenido de humedad y densidad básica vigas.....	59
Tabla 10. Resultados contenido de humedad y densidad básica columnetas.....	60
Tabla 11. Resultado promedio ensayo de flexión estática – probetas estándar.....	61
Tabla 12. Resultados ensayo de flexión estática – vigas laminadas.....	63
Tabla 13. Resultados ensayo de flexión estática – vigas macizas.	64
Tabla 14. Resultados compresión paralela a la fibra en columnetas laminadas.....	65
Tabla 15. Resultados compresión paralela a la fibra en columnetas macizas.	66
Tabla 16. Comparación de los ensayos de las vigas sometidas a flexión estática.....	67
Tabla 17. Comparación de resultados con investigaciones similares de la UNC.....	68
Tabla 18. Comparación de los ensayos de las columnetas.	68
Tabla 19. Resultados contenido de humedad.	69
Tabla 20. Resultados densidad básica.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal y longitudinal del fuste de un árbol.....	10
Figura 2. Partes del tronco de un árbol. (JUNAC & PADT-REFORT, 1984)	11
Figura 3. Estructura macroscópica del tronco.	11
Figura 4. Ejes y caras de la madera respecto a la dirección de sus fibras.	15
Figura 5. Planos de observación de un tronco de acuerdo a la dirección de sus fibras. .	16
Figura 6. Ejes de una pieza de madera.	16
Figura 7. Esquemas de probetas en compresión paralela a las fibras.....	21
Figura 8. Esquema de ensayo de compresión perpendicular a las fibras.	22
Figura 9. Esquema de ensayo de la flexión estática.	22
Figura 10. Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras.....	23
Figura 11. Esquema de ensayo de tenacidad.	23
Figura 12. Esquema de ensayo de cizalle longitudinal.....	24
Figura 13. Esquema de ensayo de cizalle paralelo tangencial.....	24
Figura 14. Esquema de ensayo de cizalle paralelo radial.	25
Figura 15. Esquema de ensayo de dureza. Puede medirse en forma	25
Figura 16. Tipos de laminado en vigas.....	32
Figura 17. Ubicación geográfica de ADEFOR.....	39
Figura 18. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.	41
Figura 19. Detalle vigas.....	43

Figura 20. Detalle columnetas.....	43
Figura 21. Ejemplo de ensayo de probeta estándar.....	62
Figura 22. Ejemplo de ensayo de viga laminada.....	63
Figura 23. Ejemplo de ensayo de viga maciza.....	64
Figura 24. Ejemplo de ensayo de columneta laminada.....	65
Figura 25. Ejemplo de ensayo de columneta maciza.....	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1).....	18
Ecuación (2).....	19
Ecuación (3).....	20
Ecuación (4).....	20
Ecuación (5).....	50
Ecuación (6).....	51
Ecuación (7).....	53
Ecuación (8).....	54
Ecuación (9).....	54
Ecuación (10).....	55
Ecuación (11).....	56
Ecuación (12).....	56
Ecuación (13).....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico.....	77
Anexo 2. Diseño de vigas laminadas encoladas rectas – NCh 2165 of 91.....	86
Anexo 3. Ensayos contenido de humedad de la madera – NTP 251.010.....	94
Anexo 4. Ensayos para determinar la densidad básica de madera.	99
Anexo 5. Ensayos a flexión estática de las probetas estándar – NTP 251.011.	104
Anexo 6. Ensayos a flexión estática de las vigas macizas – NTP 251.011.....	119
Anexo 7. Ensayos a flexión estática de las vigas laminadas – NTP 251.011.....	124
Anexo 8. Ensayos a compresión pura de las columnetas macizas – NTP 251.014.....	129
Anexo 9. Ensayos a compresión pura de las columnetas laminadas – NTP 251.014. .	139

RESUMEN

En nuestro país y sobre todo en nuestra Región Cajamarca la mayoría de viviendas son de adobe, las cuales se construyen con elementos estructurales de madera maciza, dichos elementos tienen limitaciones como su longitud, resistencia variable, duración, entre otros; es por ello que el objetivo de esta investigación es analizar y comparar el comportamiento de los elementos estructurales de madera maciza y de madera laminada de pino radiata sometidos a esfuerzos de flexión estática y compresión determinando sus propiedades físicas y mecánicas para demostrar que los elementos de madera laminada se comportan mejor, así incentivar el uso de estos elementos en la construcción de viviendas.

La investigación inició con la obtención de probetas de madera de pino radiata de sección de 5cm x 5cm y 75 cm de longitud, de las cuales se obtuvieron sus propiedades físicas y mecánicas los cuales sirvieron para hacer el diseño y construcción de los elementos de estudio: 05 vigas laminadas y 05 vigas macizas de sección de 4" x 4" y 3.18 m de longitud que fueron ensayadas a flexión, además de 10 columnetas laminadas y 10 columnetas macizas de sección de 4" x 4" y 0.35 m que se las ensayó a compresión. Los resultados fueron que en las vigas laminadas el promedio del esfuerzo máximo es de 317.51 kg/cm² y el de las vigas macizas de 221.72 kg/cm², mientras que en las columnetas laminadas tenemos un promedio de esfuerzo máximo de 246.44 kg/cm² y en las columnetas macizas de 363.70 kg/cm², se concluye así que las vigas laminadas tienen un mejor comportamiento en 1.43 veces respecto a las vigas macizas y que las columnetas laminadas tienen un peor comportamiento a los esfuerzos de compresión en 0.68 con respecto a las columnetas macizas.

Palabras Claves: Madera maciza, madera laminada, comportamiento mecánico, elemento estructural.

ABSTRACT

In our country and especially in our Cajamarca Region, most houses are made of adobe, which are built with structural elements of solid wood, these elements have limitations such as their length, variable resistance, duration, among others; That is why the objective of this research is to analyze and compare the behavior of the structural elements of solid wood and laminated radiata pine wood subjected to static bending and compression stresses, determining their physical and mechanical properties to demonstrate that the wooden elements laminated behave better, thus encouraging the use of these elements in housing construction. The investigation began with the obtaining of radiata pine wood specimens with a section of 5m x 5cm and 75 cm in length, from which their physical and mechanical properties were obtained, which served to make the design and construction of the study elements: 05 laminated beams and 05 solid beams with a 4" x 4" section and 3.18 m in length that were tested for bending, in addition to 10 laminated columns and 10 solid columns with a 4" x 4" section and 0.35 m that were tested to compression. The results were that in the laminated beams the maximum stress average is 317.51 kg/cm² and that of the solid beams is 221.72 kg/cm², while in the laminated columns we have an average maximum stress of 246.44 kg/cm² and in the solid columns of 363.70 kg/cm², it is concluded that the laminated beams have a better behavior in 1.43 times with respect to the solid beams and that the laminated columns have a worse behavior to the compression efforts in 0.68 with respect to the solid columns.

Keywords: Solid wood, laminated wood, mechanical behavior, structural element.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente trabajo expone las ventajas de utilizar la madera laminada tipo sándwich doble en elementos estructurales en las construcciones, ya que esta tiene algunas ventajas frente a otros materiales como el acero, el concreto y la madera maciza, en esta ocasión nos centraremos en determinar su comportamiento mecánico para compararlos directamente con los de la madera maciza.

Dos características resaltantes de la madera laminada son su estética y la tecnología que se usa para ser fabricadas, resultando en uno de los materiales con propiedades mecánicas, físicas y sismorresistentes apropiadas para ser utilizadas y aprovechadas como elementos estructurales en estructuras tanto de grandes como de pequeñas luces.

La madera laminada es considerada, por la industria, como el mejoramiento de la madera maciza, es un material con el cual es posible fabricar vigas y estructuras con mayores dimensiones y del que se resaltan sus propiedades físico mecánicas, no sólo comparada con la madera maciza, sino también con materiales tradicionales para la construcción como el acero y el concreto; frente a ellos, la madera laminada a simple vista está un paso más adelante por sus cualidades estéticas.

Dentro de la industria la madera laminada se considera como la evolución de la madera maciza, ya que con este material es posible construir elementos estructurales con mejores propiedades físicas, mecánicas, de forma y tamaño que la madera maciza, además tiene ventajas frente a otros materiales como el acero y el concreto debido a que puede combinarse acoplándose con elementos estructurales que son de otros materiales; además también por sus cualidades estéticas (Barrera, 2010).

En el Perú el uso de la madera laminada como elemento estructural (vigas y columnas) es muy restringido, debido a que no se conocen sus propiedades ni se ha expandido la

tecnología de su fabricación, a diferencia de otras regiones como Europa, Asia, Estados Unidos y nuestros vecinos Brasil Argentina y Chile, el uso de la madera estructural laminada ha sido más difundido y aprovechado a un nivel que su fabricación, diseño y uso se encuentra normado.

Según (Carton) en el año 2014 existían casi 40 000 ha de plantaciones forestales en Cajamarca, pero por su dispersión y ausencia de acompañamiento de los propietarios, no todas participan de un plan de aprovechamiento industrial y comercial, para lo cual ADEFOR hace esfuerzos para un manejo adecuado y relación entre los bosques y pobladores.

Desde el año 2000 en Cajamarca la Asociación Civil para la Investigación (ADEFOR) que ha apoyado con la materia prima y mano de obra técnica para la elaboración de esta investigación, ha sido y es el impulsor líder para fomentar el desarrollo forestal en nuestra región en asociación con otras entidades, logrando que hoy se tenga las siguientes áreas plantas por especie.

Tabla 1.
Área plantada por especie (Granja Porcón)

Especie	Área (ha)
Pinus patula	4,194.82
Pinus radiata	473.58
Pinus muricata	534.18
Pinus montezumae	454.94
Pinus pseudostrobus	440.17
Pinus greggii	80.36
Área total	6,178.08

Nota. Fuente: (Reforestadora Amazónica, 2016)

Tabla 2.
Área plantada por especie (ADEFOR)

Especie	Área (ha)
Pinus patula	2,384.09
Pinus radiata	1,361.03
Pinus muricata	10.50
Pinus pseudostrobus	65.88
Área total	3,821.50

Nota. Fuente: (Reforestadora Amazónica, 2016).

Gracias a estos esfuerzos y lo que con ello se ha logrado podemos decir que en nuestra Región Cajamarca tenemos abundante madera que se puede usar como materia prima para la fabricación de elementos estructurales de madera laminada.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad en nuestro país la construcción de edificaciones con elementos estructurales de madera se encuentra limitada a la longitud de estos elementos que no suelen ser muy largos, mientras que con la tecnología del laminado se logra fabricar elementos estructurales de madera laminada con longitudes de hasta 30 metros y secciones de acuerdo a lo que se requiera sin ninguna restricción.

La construcción de estructuras de madera maciza tiene desventajas como que no se pueden conseguir medidas de largo ilimitado, ya que van en función del árbol y de su largura además que no se puede determinar su grado exacto de resistencia ya que cada pieza es diferente y existe la posibilidad de que haya un daño oculto; además uno de los problemas más importantes a tener en cuenta es el control de la humedad ya que existe la posibilidad de que aparezcan fendas de madera en caso de cambios bruscos de humedad con su consiguiente retorcimiento (LOMASTUDIO, 2018).

También a pesar de que nuestro país es un gran productor de madera y en nuestra región abunda la madera de Pino Radiata, su uso en construcción es muy reducido, generalmente se utiliza para la fabricación de muebles, pisos, encofrados, etc., sin embargo esta posee

propiedades mecánicas que pueden ser aprovechadas como elementos estructurales; además desde sus propiedades físicas la madera del Pino Radiata es considerada como una especie liviana por lo cual la hace una especie permeable lo que permite que no tenga problemas de adherencia para ser usada como materia prima en la construcción de elementos estructurales de madera laminada como son las vigas y columnas (Anyaypoma, 2015).

En otros países el uso de la madera maciza se ha ido descartando poco a poco como elemento estructural bajo la filosofía de no poder controlar sus puntos débiles o nudos, esto hace que no se pueda certificar una resistencia constante a lo largo de la pieza, además cuanto más grande es la sección del elemento, más grandes son las fendas, también puede que esta madera maciza esté verde o con un contenido de humedad mayor que la del equilibrio higroscópico de la obra, lo que genera la consiguiente aparición de fendas de secado; en cambio la madera laminada se suministra con un contenido de humedad del 9% al 13%; lo que permite que no aparezcan fendas o éstas sean mucho menores (Llamazares, 2016).

En nuestra Región Cajamarca el uso de vivienda de adobe es común entre la población, de acuerdo a la base de datos del (INEI, 2017) en nuestra Región Cajamarca existen 264,310 viviendas de adobe, lo que equivale al 70.3% de las viviendas, este tipo de vivienda se construye con elementos estructurales de madera maciza que como se expuso anteriormente tiene desventajas frente a la madera estructural laminada y al reemplazarlas en la construcción mejoraríamos la calidad de las viviendas de muros de adobe y madera en nuestra Región.

1.3 Formulación del problema de investigación

¿Cuál es el comportamiento mecánico de los elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión y flexión estática, respecto a los elementos de madera maciza sometidos a los mismos esfuerzos?

1.4 Hipótesis

El comportamiento mecánico de los elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión pura y flexión estática tendrán un mejor comportamiento respecto al comportamiento mecánico de los elementos de madera maciza sometidos a los mismos esfuerzos.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación teórica

La presente investigación nos permitirá enriquecer el conocimiento sobre los elementos estructurales de madera laminada lo cual en nuestro país es escaso por la falta de investigación en este rubro; este conocimiento podrá ser consultado en un futuro por estudiantes, investigadores o cualquier persona que lo requiera, además incentivará a investigar acerca de la madera como elemento estructural debido a las ventajas que posee.

1.5.2 Justificación técnica

El presente estudio se realiza con el motivo de determinar el comportamiento mecánico de los elementos estructurales de madera laminada tipo sándwich doble y compararla con las propiedades del mismo tipo de madera en su forma maciza, demostrando que con el uso de la madera laminada obtenemos elementos estructurales más resistentes y sin defectos, lo que nos garantiza una uniformidad de la resistencia a lo largo de todo el elemento, además de que obtenemos otras ventajas como la obtención de elementos de cualquier longitud y sección transversal, mayor duración del elemento, entre otros.

1.5.3 Justificación social

En nuestra región aproximadamente el 70% de viviendas son de adobe, en las cuales los elementos estructurales son de madera maciza las cuales tienen ciertas limitaciones, esta investigación aportará información sobre los elementos estructurales de madera laminada que el poblador cajamarquino podrá conocer y aplicar en la construcción de su vivienda, mejorando la calidad y seguridad de esta; además con esta tecnología se logra optimizar la materia prima ya que piezas pequeñas se pueden utilizar en el armado de los elementos, consiguiendo un mejor aprovechamiento del bosque natural y favoreciendo la sostenibilidad medio ambiental.

1.6 Delimitación de la investigación

Para poder estudiar y analizar el comportamiento de comportamiento mecánico de los elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión y flexión estática se fabricarán y ensayarán 15 probetas estándar con dimensiones de 5 cm x 5 cm x 75 cm, de estas obtendremos las propiedades mecánicas y físicas, contenido de humedad, densidad, contracción y esfuerzo de diseño; para determinar el esfuerzo máximo de rotura y la resistencia a la flexión en el límite proporcional elástico se fabricarán y ensayarán 05 vigas de madera laminada y 05 vigas de madera maciza de 4"x 8"x3.18m; para determinar el esfuerzo a la compresión pura paralela a las fibras se fabricarán y ensayarán 10 columnetas de madera laminada y 10 columnetas de madera maciza de 4"x 8"x0.35m, todos los elementos de la misma madera de pino radiata.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión y flexión respecto al comportamiento de vigas y columnetas de madera maciza sometidos a los mismos esfuerzos.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de la madera de Pino Radiata.
- Determinar el módulo de elasticidad, el módulo de rotura y resistencia en el límite proporcional elástico de los elementos estructurales de Pino Radiata sometidos a compresión y flexión estática.
- Analizar la influencia de los nudos en la resistencia a flexión estática de las vigas de Pino Radiata de madera laminada y de madera maciza.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos.

2.1.1 Antecedentes internacionales.

1.- Macedo. (2018). *Diseño y determinación de flexión estática en piezas estructurales de madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.*

En esta investigación se realizaron ensayos de flexión estática según la norma ASTM D-198-99, determinando los esfuerzos para 140 piezas de madera de *Pinus pseudostrobus* L., la mitad eran de madera maciza y la otra mitad de madera compuesta o laminada, con la finalidad de implementarlas como elementos estructurales; se determinó que la madera laminada tiene un mejor comportamiento que la maciza y que aún se puede mejorar si se le combina con planchas de metal.

2.- Barreto. (2013). *Estudio de propiedades físico mecánicas (corte y flexión) de la especie de madera tropical teca (tectona grandis) en el sistema de laminado pegado estructural. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.*

En esta tesis se estudió la madera teca, por medio de ensayos mecánicos de corte de MLPE, en teca se verificaron que no existen problemas con la utilización de adhesivos estructurales utilizados para los laminados en madera, y por medio de pruebas de flexión se obtuvieron valores por encima de las resistencias admisibles de la normativa internacional, lo cual avalaría el uso de la teca en este sistema constructivo como elementos importantes dentro de las estructuras de edificaciones.

3.- Donoso. (2016). *Producción de vigas de madera laminada encolada de alta capacidad resistente mediante la utilización de madera aserrada de pino radiata clasificada mecánicamente. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile.*

En este estudio se ensayan 54 probetas que demuestran que la incorporación de láminas de grados mecánicos aumenta el Módulo de Rotura (MR) a flexión característico entre un 40-50% y el Módulo de Elasticidad (MoE) medio en 45%, versus vigas con láminas clasificadas visualmente. Además, la ubicación de láminas verticales en la zona flexotraccionada arroja un aumento de MR a flexión característico entre un 30-40%, en contraste con el MoE medio que no experimenta cambios en comparación con vigas de láminas horizontales.

4.- *Sanango. (2017). Comparación del diseño y evaluación de miembros estructurales de madera laminada encolada con uniones dentadas, de Pino Radiata y Eucaliptus Globulus. Universidad del Azuay. Cuenca-Ecuador.*

En este trabajo se evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Eucaliptus Globulus, además del diseño de miembros (elementos) estructurales de madera laminada bajo criterios de las normas chilena y japonesa para ensayos de compresión, flexión, cortante y otros, con el objetivo de comparar los resultados con los de la madera de Pinus Radiata.

5.- *Sobarzo. (2013). Análisis teórico y experimental de las propiedades mecánicas de vigas de madera laminada encolada para su uso en edificación. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Valdivia-Chile.*

En esta tesis se ensayaron vigas de diferentes dimensiones, determinándose sus diferentes propiedades mecánicas comparándose con la normativa vigente, elaborándose tablas para cada propiedad (compresión, flexión y corte), además se determinaron el módulo de Módulo de Elasticidad a Compresión, el Módulo de Elasticidad a Flexión y el Módulo de Corte.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 La madera.

La madera es un material que constituye las raíces, ramas y troncos de los árboles, formada por un conjunto de células que forman el árbol (Brotóns, 2011).

La madera es un material biológico de naturaleza porosa constituido principalmente por celulosa, es un material heterogéneo por lo tanto es un material anisotrópico debido a que está compuesto por diferentes tipos de células, haciendo que sus propiedades sean muy diferentes de acuerdo a la dirección de sus fibras (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

2.2.1.1 La madera y su estructura anatómica macroscópica.

La madera es un material poroso, heterogéneo y de estructura celular (por ser un material biológico) denominadas células vegetales. Tales células tienen un aspecto tubiforme (forma de tubo) y presentan una pared celular que deja una cavidad denominada lumen celular. La formación de cada una de estas células es el resultado de divisiones que se producen en una zona del árbol encargada de la reproducción de los diferentes tejidos denominada cambium (Ananías, 1993).

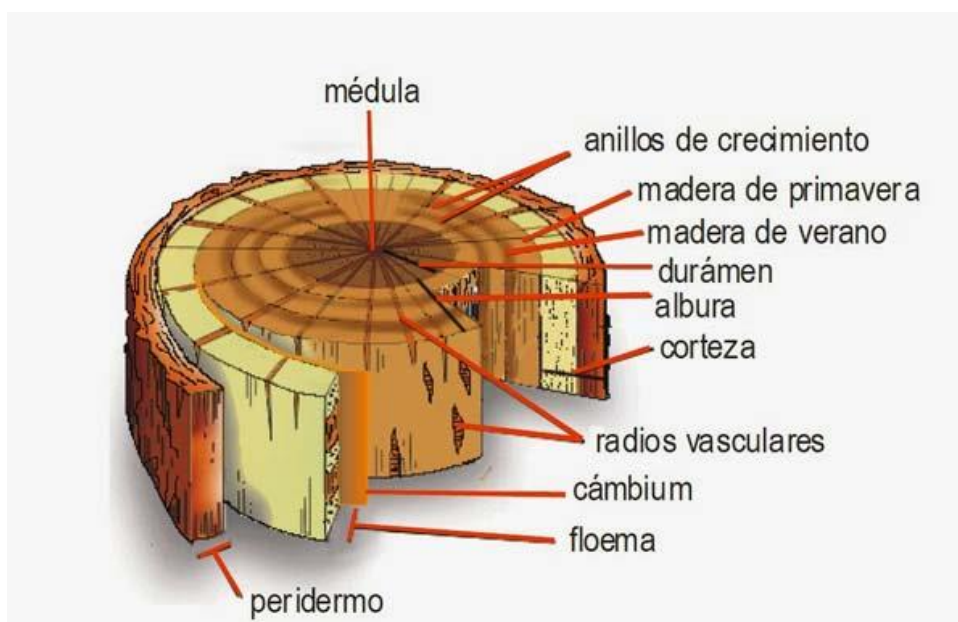


Figura 1. Corte transversal y longitudinal del fuste de un árbol. (LUFÉ, 2018).

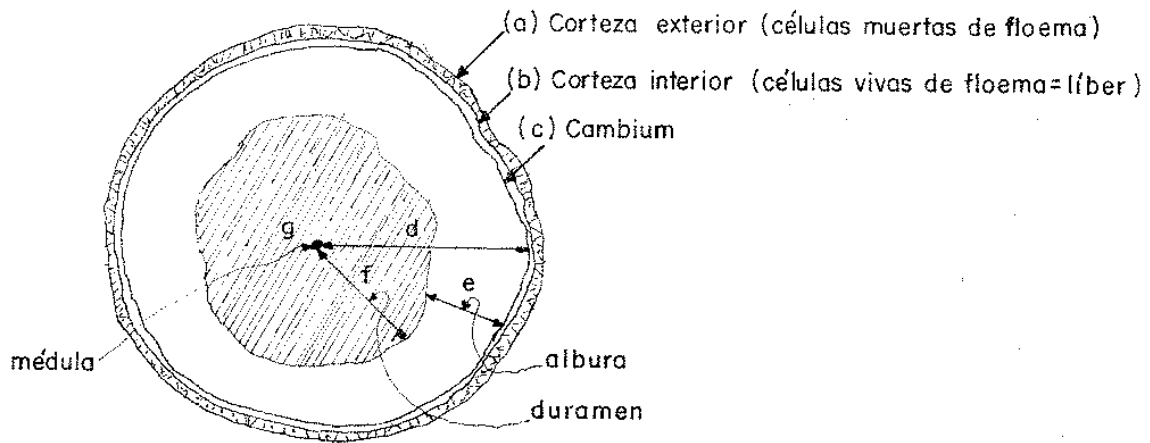


Figura 2. Partes del tronco de un árbol. (JUNAC & PADT-REFORT, 1984)

Si se observa una sección transversal de un fuste de afuera hacia adentro, se evidencian las siguientes zonas.

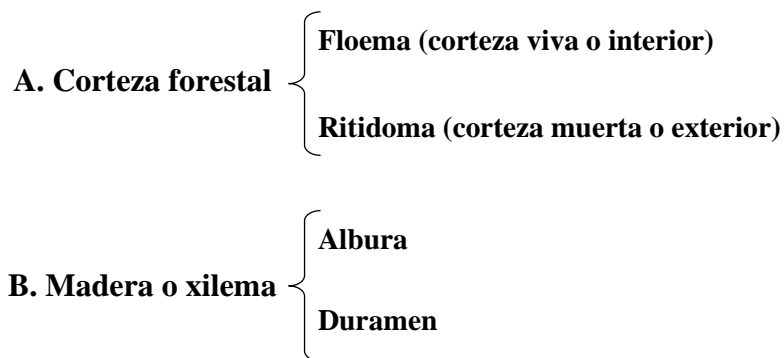


Figura 3. Estructura macroscópica del tronco. (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005)

El tallo desempeña funciones como:

- Crecimiento.
- Conducción de agua.
- Transporte, almacenamiento y conducción de sustancias nutritivas.
- Sostén del vegetal.
- Secreción de sustancias (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

Corteza: Constituida interiormente por **floema** (corteza viva) conjunto de tejidos vivos especializados en la conducción de savia elaborada, y exteriormente por **ritidoma** o **cortex** o **corteza muerta**, tejido que reviste el tronco. La corteza protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o fuego, además de la función de almacenamiento y conducción de nutrientes (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

Madera o xilema: La madera del árbol se caracteriza por presentar dos zonas definidas fisiológicamente y en muchos casos a nivel macroscópico. Ellas son **albura** y **duramen** (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

La albura en la parte activa del xilema, contiene células vivas y material de reserva en un árbol vivo; conduce gran cantidad de agua y de sales en solución desde la raíz a las hojas, provee rigidez al tallo y sirve para reserva de sustancias; es menos resistente que el duramen (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

El duramen es leño biológicamente inactivo (sin células vivas), su función es de sostén, se encuentra entre la médula y la albura; generalmente más compacto y oscuro (debido al depósito de taninos, resinas, grasas, carbohidratos y otras sustancias) que la albura, se forma por el envejecimiento del árbol (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

Médula: Es la parte central de la sección del tronco y está constituido por el tejido parenquimático, que tiene la función de almacenar y distribuir las sustancias de reserva, tiene escasa resistencia mecánica (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

Anillos de crecimiento: En zonas de clima templado, los anillos de crecimiento representan un incremento anual del árbol. Cada año se forma un anillo, razón. Estos determinan la edad del árbol, un análisis de los anillos de crecimiento, nos indica si el árbol tuvo un crecimiento rápido (anillos bien espaciados), o lento (pequeño espacio entre anillos); o aquellos años que han sido desfavorables para la planta (espesores menores), o más beneficiosos (espesores mayores) (Giménez, Moglia, Hernández, & Gerez, 2005).

2.2.1.2 La madera y su estructura anatómica microscópica.

Maderas latifoliadas o maderas duras: La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, constituida por diferentes células leñosas. Existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica y que forman el 50% o más del volumen de la madera

Maderas coníferas o maderas blandas: La madera tiene una estructura anatómica homogénea, y está constituida por elementos leñosos llamados traquidos, que forman el 80% o 90% del volumen total de la madera.

2.2.2 La madera como materia prima.

Históricamente la madera es uno de los materiales más utilizados por el hombre hasta la actualidad; tiene muchas ventajas frente a otros materiales por lo que se la usa de diferentes maneras en diferentes sectores; al ser un recurso renovable con un adecuado manejo se podría obtener de madera ilimitada (armonizando su velocidad de renovación con su aprovechamiento) (Ananías, 1993), como materia prima, la madera posee las siguientes características:

- La madera es fácil de trabajar, se puede cortar y tallar con métodos simples, puede unirse con otros elementos de madera u otro material mediante clavos, conectores, pernos o adhesivos (Ananías, 1993).
- Posee alta resistencia mecánica. Es rígida y a la vez flexible, resiste al impacto y a la vez amortigua las vibraciones (Ananías, 1993).
- Los cambios de temperatura y de humedad producen cambios dimensionales en la madera (Ananías, 1993).
- Es un material que aísla el sonido hasta cierto grado, lo cual se puede mejorar de acuerdo al sistema constructivo (Ananías, 1993).
- Es buen combustible, lo que es ventajoso al usarla para producir combustible, pero desventaja cuando no se quiere usar para ese fin como en el caso de la construcción,

pero usando productos ignífugos o retardantes de fuego se puede minimizar esta característica (Ananías, 1993).

- Es un material heterogéneo, su estructura anatómica y química, así como sus propiedades físicas y mecánicas son variables de una especie a otra, pero también posee ciertas características comunes en todas las especies, de las cuales destacan:
 - La madera está formada por una estructura celular, conformando un material sólido y poroso.
 - Es un material anisotrópico, ya que su comportamiento es diferente de acuerdo a sus ejes (direcciones longitudinales y transversales)
 - Es un material higroscópico, ya que capta o libera humedad de acuerdo a las condiciones ambientales (Ananías, 1993).

2.2.3 La madera como elemento estructural en la construcción.

Es aquella que se utiliza en la producción de elementos estructurales como vigas, puntales, etc. o para la realización de estructuras portantes de un edificio, como por ejemplo techos, paredes, escaleras, etc. (Vásquez Montoya, Olivas Medina, & Solís Moreno, 2008)

Existe una amplia variedad de madera y productos estructurales de construcción a base de la misma, disponibles para usarse en casi todos los tipos de estructuras. Los productos más comunes incluyen madera sólida, madera laminada encolada, plywood y OSB (Oriented Strand Board). La madera aserrada sólida fue la base de las construcciones con este material y todavía es ampliamente utilizada; sin embargo, el cambio en los recursos naturales ha limitado el tamaño y la calidad de la madera en bruto. Por lo cual, se ha vuelto cada vez más difícil obtener maderas de alta calidad y de gran dimensión para la construcción. Este cambio en el material bruto junto con una demanda de un material más resistente a un costo más rentable, inició el desarrollo de productos alternativos que

pueden reemplazar a la madera sólida. Productos diseñados tales como la madera estructural laminada, fueron el resultado de esta evolución. Estos productos han ganado popularidad rápidamente y han recibido un amplio uso en la construcción (Vásquez Montoya, Olivas Medina, & Solís Moreno, 2008).

2.2.4 Ejes de la madera.

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 (Fritz Durán, 2004).

Eje tangencial: Tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza (Fritz Durán, 2004).

Eje radial: Es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal (Fritz Durán, 2004).

Eje axial o longitudinal: Es paralelo a la dirección de las fibras y por ende forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial (Fritz Durán, 2004).

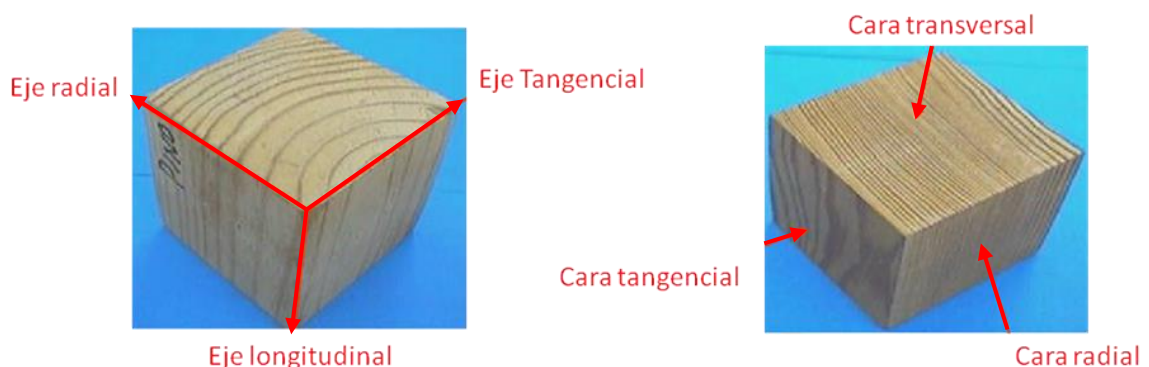


Figura 4. Ejes y caras de la madera respecto a la dirección de sus fibras. (Rivero, 2003)

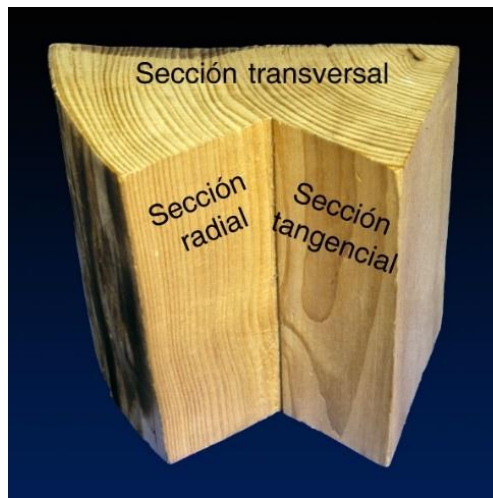


Figura 5. Planos de observación de un tronco de acuerdo a la dirección de sus fibras. (Richter, Gembruch, & Koch, 2017)

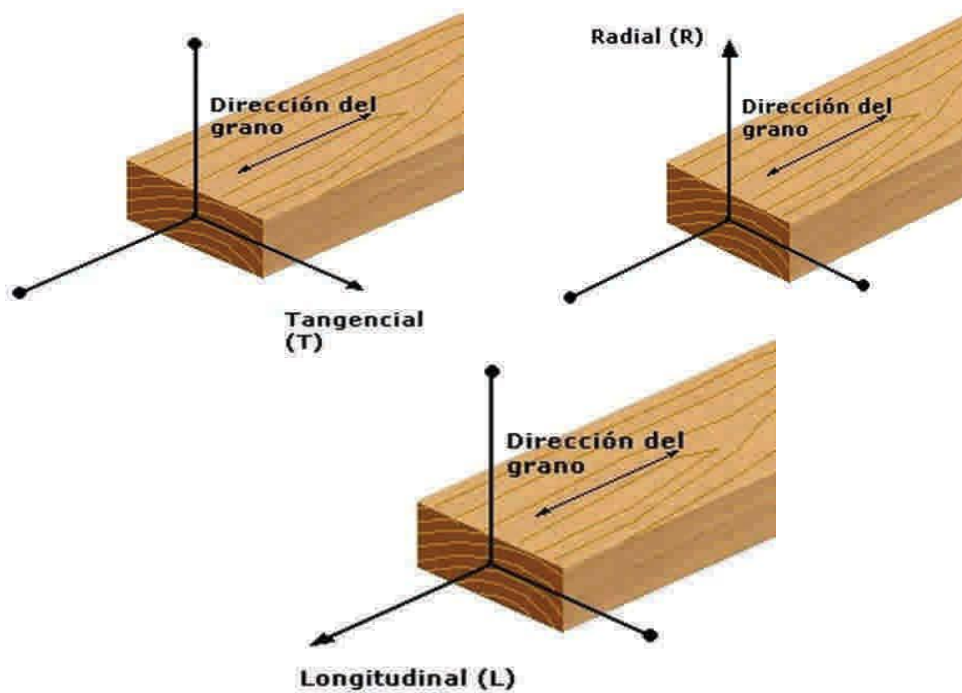


Figura 6. Ejes de una pieza de madera. (Fritz Durán, 2004)

2.2.5 Propiedades de la madera.

2.2.5.1 Propiedades físicas de la madera.

2.2.5.1.1 Contenido de humedad (CH).

Es la masa de agua contenida en una pieza de madera expresada como porcentaje de la masa de la pieza en estado anhidro (Cuevas, 2003).

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire (Construmática, 2020).

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento (Construmática, 2020).

2.2.5.1.2 Densidad de la madera.

La madera al ser un material poroso y celular, la cantidad de sustancia sólida que tiene un volumen de madera viene a ser su densidad, es un buen indicador de sus propiedades mecánicas, así como de su durabilidad (Anyaypoma, 2015).

La densidad es el cociente entre la masa y el volumen de la madera, la cual también depende de la cantidad de agua que tiene el elemento, cuando la humedad aumenta, la densidad también aumenta (Cuevas, 2003).

Tabla 3.
Clasificación de la madera por grupos según su densidad básica

Grupo	Densidad básica (gr/cm ³)
A	≥ 0.71
B	0.56 – 0.70
C	0.40 a 0.55

Nota. Fuente: (Norma E.010, 2006).

Se determina con la siguiente expresión.

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \quad (1)$$

Donde:

ρ = Densidad (gr/cm³).

m = Masa del elemento (gr).

V = Volumen del elemento (cm³).

Según (NTP 251.011, 2014) existen:

- Densidad básica: Considera la masa anhidra y el volumen de la madera saturada con agua; es la menor de las que se van a calcular, sin embargo, es la de mayor importancia porque nos permite clasificar estructuralmente a la madera en estudio.
- Densidad verde o Saturada (DS): Considera la masa de la madera verde y el volumen verde de misma.
- Densidad seca al aire (Dsa): Relación que existe entre la masa de la madera seca al aire y el volumen de esta también seca al aire.
- Densidad anhidra (Da): Relación que existe entre la masa de la madera seca al horno y el volumen de esta también seca al horno.

2.2.5.1.3 Contracción y expansión de la madera.

La madera al ser un material higroscópico intercambia humedad con el medio que lo rodea, produciéndose variaciones en las dimensiones de los elementos de madera debido a este intercambio, lo que se conoce como contracción o hinchamiento (Ananías, 1993).

La contracción se da con mayor intensidad en la albura, esto resulta en tensiones diferentes en el elemento debido a la desecación que agrietan y alabea la madera (Universidad Católica del Norte, 2009).

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra (Universidad Católica del Norte, 2009).

Se calculan con la siguiente expresión:

$$\text{Contracción} = \frac{\text{Cambio dimensional}}{\text{Dimensión inicial}}$$

Que vendría ser:

$$C = \frac{di - df}{di} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Donde:

C = Contracción (en porcentaje).

di = Dimensión inicial (mm).

df = Dimensión final (mm).

Contracción normal.

Es la contracción que sufre la madera cuando pasa del estado verde al estado seco al aire de acuerdo a los tres ejes de la madera tenemos la contracción tangencial normal, contracción radial normal, contracción longitudinal normal y la contracción volumétrica normal que es la determinación de la contracción normal en sus tres direcciones simultáneamente (tangencial, radial y longitudinal) y se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$CVN = Ctn + Crn + Cln (\%) \quad (3)$$

Donde:

CVN = Contracción volumétrica normal (en porcentaje).

Ctn = Contracción tangencial normal (en porcentaje).

Crn = Contracción radial normal (en porcentaje).

Cln = Contracción longitudinal normal (en porcentaje).

Contracción total.

Es la contracción que sufre la madera cuando pasa del estado del estado verde al estado anhidro y también se da de acuerdo a los tres ejes de la madera.

- **Contracción volumétrica total:** Es la determinación de la contracción total en sus tres direcciones simultáneamente (tangencial, radial y longitudinal) y se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$CVT = Ctt + Crt + Clt (\%) \quad (4)$$

Donde:

CVT = Contracción volumétrica total (en porcentaje).

Ctt = Contracción tangencial total (en porcentaje).

Crt = Contracción radial total (en porcentaje).

Clt = Contracción longitudinal total (en porcentaje).

2.2.5.2 Propiedades mecánicas de la madera.

Las propiedades mecánicas son aquellas que determinan la capacidad o aptitud para que el elemento de madera pueda resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier carga aplicada por un agente no propio del material, ajeno o externo que puedan alterar su tamaño, dimensión o la deforme (Pérez Méndez, 2010).

Las propiedades mecánicas y elásticas de la madera se obtienen 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 (Pérez Méndez, 2010).

Se tienen las siguientes:

Compresión paralela a la fibra.

Es la resistencia que posee la madera frente a una carga en dirección paralela a sus fibras, la que se aplica en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad (Fritz Durán, 2004).

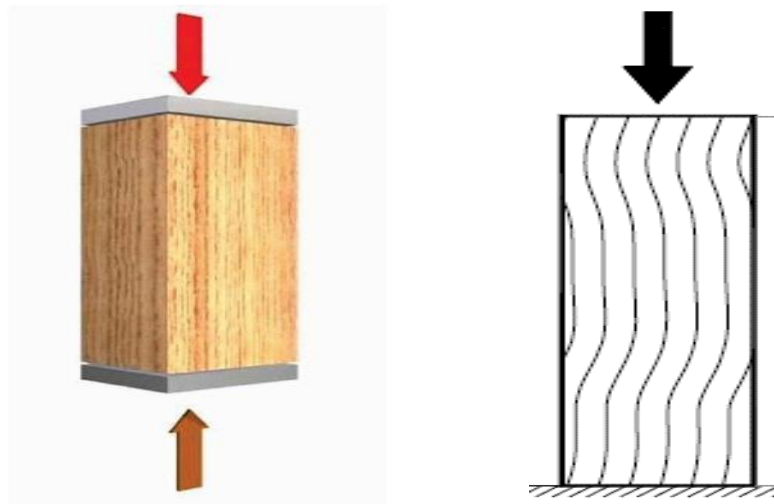


Figura 7. Esquemas de probetas en compresión paralela a las fibras. (Fritz Durán, 2004)

Compresión normal o perpendicular a la fibra.

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima (Fritz Durán, 2004).

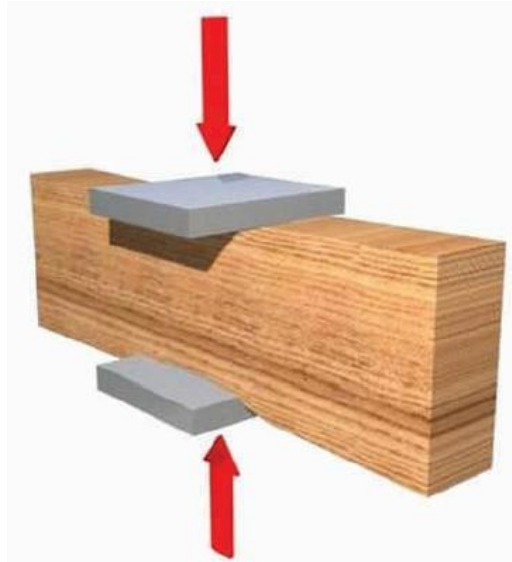


Figura 8. Esquema de ensayo de compresión perpendicular a las fibras. (Fritz Durán, 2004).

Flexión estática.

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 (Fritz Durán, 2004).

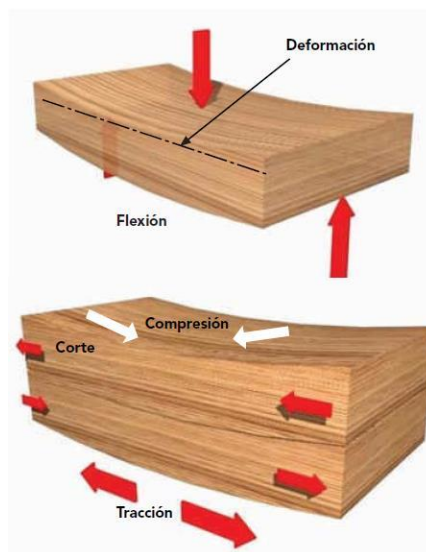


Figura 9. Esquema de ensayo de la flexión estática. (Fritz Durán, 2004).

Tracción paralela a las fibras.

Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras (Fritz Durán, 2004).



Figura 10. Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras. (Fritz Durán, 2004).

Tenacidad.

Es la capacidad que tiene la madera de absorber energía al aplicar una carga que actúa en forma instantánea (Fritz Durán, 2004).



Figura 11. Esquema de ensayo de tenacidad. (Fritz Durán, 2004).

Cizalle longitudinal.

El cizalle es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra, para el cizalle longitudinal la sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla en el sentido longitudinal de la fibra (Fritz Durán, 2004).



Figura 12. Esquema de ensayo de cizalle longitudinal. (Fritz Durán, 2004).

Cizalle paralelo tangencial.

La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla, tangente a los anillos de crecimiento (Fritz Durán, 2004).



Figura 13. Esquema de ensayo de cizalle paralelo tangencial. (Fritz Durán, 2004).

Cizalle paralelo radial.

La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento (Fritz Durán, 2004).



Figura 14. Esquema de ensayo de cizalle paralelo radial. (Fritz Durán, 2004).

Dureza.

Es la resistencia que presenta la madera a la penetración (Fritz Durán, 2004).



Figura 15. Esquema de ensayo de dureza. Puede medirse en forma normal o paralela a la fibra. (Fritz Durán, 2004).

2.2.5.3 Propiedades elásticas de la madera.

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 (Fritz Durán, 2004).

Rigidez.

Se define como la propiedad que tiene un material para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas (Fritz Durán, 2004).

Módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad.

Es la medida de rigidez de la madera, 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 Durán, 2004).

2.2.6 Clasificación de la madera estructural para garantizar su calidad.

Para que la madera sea considerada como material para la construcción de elementos estructurales, debe cumplir con las características necesarias como las de calidad controlada, Identificación de especies apropiadas y un dimensionamiento estandarizado, para poder cumplir con estos requerimientos se exponen los siguientes métodos.

2.2.6.1 Clasificación visual para madera estructural.

La madera posee elementos que afectan negativamente su resistencia, las cuales se les llama comúnmente defectos, estos defectos deben estar muy limitados en piezas de madera que van a ser usados como elementos estructurales para garantizar que se comporten de acuerdo al diseño que se hizo de estas, utilizando este método obtenemos

una madera de calidad determinada, a cada lista de defectos con sus tolerancias se le conoce como una regla de clasificación.

En los proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el área de Recursos Forestales Tropicales (PAT.REFORT) y en particular en aquel llamado “El Estudio Integral de la Madera para la Construcción”, ejecutado por la Junta del Acuerdo de Cartagena como parte de su política tecnológica, se ha desarrollado una regla de clasificación visual por defectos para madera estructural. En ella se establece por ahora una sola calidad. Es decir, aquellas piezas que tienen menos defectos que los establecidos por las reglas son clasificadas como de calidad estructural. Aquellas que tienen más defectos que los permitidos no los son, pudiendo usarse en todas aquellas aplicaciones de la madera que no cumplen una función resistente (Bueno Valera, 2017).

Esta regla de clasificación de PADT-REFORT es del tipo visual, ya que un personal debidamente capacitado se encarga de hacer la identificación y medición de cada pieza de madera. Esta regla no distingue el uso que se le va a dar a la madera como elemento estructural y las respectivas solicitaciones a las va a estar expuesta.

Tabla 4.

Reglas de clasificación visual para madera estructural.

Defectos	Tolerancias.
1. Abarquillado.	Se permite en forma leve, no mayor de 1% del ancho de la pieza.
2. Arista Faltante.	Se permite en una sola arista, las dimensiones de la cara y el canto (espesor) donde falta la arista deberán ser por lo menos 3/4 de las respectivas dimensiones con la arista completa.
3. Arqueadura.	Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud de la pieza o su equivalente: $h/L \leq 0.3\%$
4. Bandas Anchas de Paranquima.	No se permiten en piezas que van a estar sometidas a esfuerzo de compresión.
5. Duramen Quebradizo.	No se permiten.

6. Encorvadura.	Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud de la pieza o su equivalente: $h/L \leq 0.3\%$
7. Escamadura.	No se permite en las aristas. Se permiten en las caras si es paralela al eje de la pieza de una profundidad menor que 1/10 del espesor y una longitud no mayor que ¼ de la longitud total.
8. Fallas de Compresión.	No se permiten.
9. Grano Inclinado.	Se permite hasta una inclinación de 1/8 en cualquier parte de la pieza.
10. Grietas.	Se permiten con distribución moderada. La suma de sus profundidades, medidas entre ambos lados, no debe exceder un ¼ del espesor de la pieza.
11. Manchas.	Se permiten con un diámetro máximo de 2 cm. o de 1/8 del ancho de la cara de la pieza, el que sea menor, máximo por 1 metro.
12. Médula Inclínada.	No se permiten.
13. Nudos Arrancimados.	No se permiten.
14. Nudo Hueco	Se permiten con un diámetro máximo de 2 cm. o de 1/8 del ancho de la cara de la pieza, el que sea menor, máximo por 1 metro.
15. Nudo Sano.	Se permite con un diámetro máximo de 4 cm. o de ¼ de ancho de la pieza, el que sea menor, máximo por 1 metro
16. Perforaciones Grandes	Se permite cuando una distribución es moderada y superficial máximo 3 agujeros en 100 cm. no pasantes no aliagas
17. Perforaciones Pequeñas.	Se permite cuando una distribución es moderada y superficial y cubren una zona menor que ¼ de la longitud total de la pieza máximo 6 agujeros en 100 cm ² no pasantes ni alineados.
18. Pudrición	No se permiten.
19. Rajadura.	Se permite solo en uno de los extremos y de una longitud no mayor del ancho de la cara de la pieza
20. Torcedura.	Se permite en una sola arista. Su magnitud no debe ser mayor que 1/300 de la longitud de la pieza.

Nota. Fuente: (JUNAC & PADT-REFORT, 1984).

2.2.6.2 Identificación de especies o grupos estructurales.

Al hablar de la “identificación” del material como una característica indispensable para su aplicación en estructuras nos estamos refiriendo, en el caso de la madera, no solamente a identificar adecuadamente a la especie que se va a colocar en obra, sino a usar aquellas especies que han sido consideradas aptas para estructuras. En este aspecto intervienen: la densidad o peso específico de la madera, su abundancia y sobre todo que se conozca confiablemente su comportamiento bajo cargas (López Merreros & Ríos Justiniano, 2001).

Para usar la madera de una especie como elemento estructural es indispensable conocer sus propiedades mecánicas y más concretamente su comportamiento en la forma de elementos a escala natural, que son los que finalmente constituye los elementos estructurales. Esto es muy importante por cuanto dichas piezas incluyen defectos que reducen su resistencia y rigidez (López Merreros & Ríos Justiniano, 2001).

Para que las propiedades asignadas a determinada especie puedan ser usadas con confianza en el diseño, deben haberse determinado con criterio estadístico. Por ello será necesario entonces realizar ensayos a escala natural con elementos de la especie en estudio y que dicho material sea representativo de la población de árboles de la especie (López Merreros & Ríos Justiniano, 2001).

Hay una cierta correlación entre la densidad básica (masa seca entre volumen verde) de la madera y los grupos estructurales. Las especies del Grupo C están entre 0.4 gr/cm³ y 0.55 gr/cm³, el Grupo B entre 0.56 gr/cm³ y 0.70 gr/cm³ y en el Grupo A entre 0.71 gr/cm³ y 0.90 gr/cm³ (López Merreros & Ríos Justiniano, 2001).

2.2.7 Madera laminada.

Se define como madera laminada al material estructural obtenido de la unión de láminas entre sí mediante el uso de adhesivos, con el grano esencialmente paralelo al eje del elemento y que funciona como una sola unidad (Norma E.010, 2006).

La madera laminada es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo, y que funciona como una sola unidad estructural (Maderea, 2016).

Existen 03 tipos de madera laminada, la laminada clavada, laminada apernada y la más común y conocida solamente como “madera laminada” la madera laminada encolada prensada; y con la cual se está realizando el presente estudio.

La madera laminada es un producto industrial que se ha utilizado en el mundo desde hace muchos años, pero en las últimas cuatro décadas su uso se ha incrementado notoriamente. Este producto tiene una alta aplicación en la vida cotidiana de las sociedades desarrolladas, desde la construcción de edificaciones hasta reemplazar productos que provienen de recursos naturales, por lo que ha adquirido un alto valor industrial y social. Es un material renovable, acumulador natural de energía solar, poco necesitado de energía de transformación, no productor de agentes contaminantes y completamente reutilizable o reciclable. En Chile se fabrica con Pino radiata, uniendo piezas entre sí por medio de unión finger-joint en sentido longitudinal y una pieza sobre otra, pegadas con adhesivo en las caras (Maderea, 2016).

Se define como madera laminada al material estructural obtenido de la unión de tablas entre sí mediante el uso de adhesivos, con el grano esencialmente paralelo al eje del elemento y que funciona como una sola unidad (Norma E.010, 2006).

Las tablas serán de la misma especie y de espesor uniforme, debiendo cumplir con la regla de clasificaciones de la Norma ITINTEC 251.104. El contenido de humedad promedio

deberá ser entre 8 a 12%, no debiendo las tablas tener diferencias en su contenido de humedad mayores que el 5% (Norma E.010, 2006).

Las colas a utilizar para la fabricación de elementos estructurales de madera deben ser lo suficiente rígidas luego del encolado para lograr una buena ligazón entre elementos y poder formar un conglomerado como si fuera madera sólida de alta calidad (Norma E.010, 2006).

Los elementos de madera laminada están formados por un determinado número de láminas, ubicadas paralelamente al eje del elemento. A su vez, las láminas están compuestas por una o más tablas de maderas unidas por su canto, cuya fibra es paralela al largo de la pieza. Por razones de secado y economía fundamentalmente.

La madera laminada como elemento estructural se puede utilizar en vigas rectas de sección constante, que son las más económicas de fabricar, pueden ser rectangulares, en forma de “T”, forma de “I”, en forma de cajón, etc., también se pueden utilizar pilares laminados de sección constante, pórticos, arcos, marcos, etc.

La especie maderas más usada en la fabricación de elementos estructurales laminados nuestro país es el Pino en sus diferentes especies, aunque a nivel de Sudamérica se usan también el Álamo, Eucalipto y Lengua pertenecientes a las Coníferas.

Conformación de la sección transversal de una viga laminada rectangular.

Si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento, se dice que la laminación es “horizontal” y, cuando éstas son normales al plano neutro de flexión, se dice que la laminación es “vertical”. De esta forma, se distinguen dos tipos de laminación: laminación horizontal y laminación vertical como se muestra en la siguiente figura respectivamente.

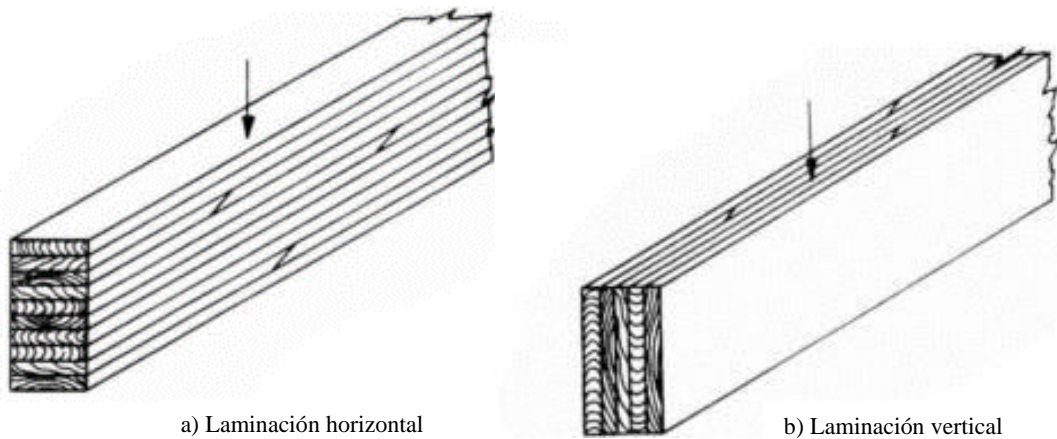


Figura 16. Tipos de laminado en vigas. (Pérez, 1992)

2.2.7.1 Ventajas y desventajas de la madera laminada.

Ventajas.

El adhesivo permite el uso de tablas cortas y angostas que, unidas eficientemente, pueden conformar piezas estructurales de cualquier espesor, largo, ancho y de formas no restringidas (CORMA, 2003).

El espesor de las tablas menor de 50 mm, permite secar la madera fácilmente, al contenido de humedad de secado (antes de usarla), con menor defecto de secado y por lo tanto, de la estructura misma (CORMA, 2003).

El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia, con la consiguiente economía, y, utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación (mayor esfuerzo). Además, es posible usar combinaciones de distintas especies (CORMA, 2003).

La madera laminada permite diseñar elementos que son prácticos y artísticos, en los cuales la sección transversal puede variar con los esfuerzos a que queda sometido el elemento. El elemento terminado no necesita estar oculto o tener una caja de ubicación, como es el caso de otra construcción, debido a que es estéticamente agradable (CORMA, 2003).

Sus grandes dimensiones en la sección transversal la hacen más resistente al fuego que construcciones de acero, diseñadas para soportar la misma carga. Estas construcciones se queman más lentamente y resisten la penetración del calor, en cambio las construcciones de acero se colapsan. Esto no significa que la madera laminada no sea combustible (el avance de la combustión es muy lento, 0,6mm/min.) (CORMA, 2003).

Los elementos laminados tienen una baja razón peso/resistencia, por lo cual pueden ser levantados y puestos en servicio con un bajo costo, además de necesitar muy poco de la sección para auto soportarse (CORMA, 2003).

Desventajas.

Muy a menudo son muy pesadas respecto al uso que se les da (CORMA, 2003).

Comparadas con la madera sin laminar, son más costosas. Especialmente en vigas rectas; envigas curvas no hay comparación. El factor económico comprende 3 rubros: Adhesivo. Mano de Obra y Madera. Lo más caro es la madera; luego tenemos el adhesivo y la mano de obra, con valores que se equilibran cuando se emplean en vigas al exterior (CORMA, 2003).

El factor pérdida durante su fabricación es bastante elevado, alrededor de un 33 a 50%, tanto en madera como en adhesivo, debido a las uniones de extremos, terminaciones y consideraciones de diseño (CORMA, 2003).

El adhesivo debe estar condicionado al uso que se va a dar al elemento. Así los adhesivos que se requieren para estructuras que van al exterior son de elevado costo. Para el diseño y cálculo de estructuras laminadas se requieren los antecedentes de propiedades y características de la madera. En nuestro país se trabaja con márgenes de seguridad bastante altos (Razón de resistencia 50-55%), lo que origina elementos de mayor escuadría y mayor costo (CORMA, 2003).

Se necesita, para su fabricación, de equipos y técnicas especiales. Los equipos son caros. Se debe conocer el proceso y contar con mano de obra especializada (CORMA, 2003). No siempre se pueden producir en obra, lo cual implica un costo adicional por transporte que, a veces, llega a ser elevado, especialmente cuando los elementos son grandes (CORMA, 2003).

Elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manipular, embarcar y transportar, lo que incide en el costo final del elemento de, madera laminada (CORMA, 2003).

2.2.7.2 Tipo de madera usada en elementos estructurales de madera laminada.

La especie maderas más usada en la fabricación de elementos estructurales laminados nuestro país es el Pino en sus diferentes especies, aunque a nivel de Sudamérica se usan también el Álamo, Eucalipto y Lengua pertenecientes a las Coníferas (CORMA, 2003).

2.2.7.3 Adherencia en elementos estructurales de madera laminada.

La madera, de estructura celular, puede considerarse que los cuerpos utilizados como cola, desprovistos de cohesión durante el lapso en que están aplicando, penetrarán en los poros de la madera, y, solo allí cambiarán las características. Las fuerzas secundarias aplicarán en la cola, que será retenida por la madera de una manera mecánica, realizándose así la unión. Al mismo tiempo, ciertas fuerzas secundarias establecerán una auténtica atracción entre las moléculas de la cola y las de la madera, manteniendo igualmente el contacto (CORMA, 2003).

La cola es en principio, fluida y se introduce en las cavidades de la estructura de la madera y luego se solidifica. La resistencia resultante se debería al entrelazamiento mutuo de los sólidos fuertes: madera y adhesivo. El adhesivo afianza el entrelazamiento al fluir desde la superficie encolada hacia las cavidades sub-superficiales de la madera. En un breve período comienza a gelatinizarse, transformándose en un semisólido, y, finalmente, la

capa superficial o película, así como los dedos o tentáculos que se han extendido dentro de la madera, se endurecen, constituyendo un sólido de suficiente resistencia, que permite mantener la ligazón así constituida; esto es lo que se llama adherencia mecánica (CORMA, 2003).

2.2.8 Pino radiata.

El pino insigne, pino de Monterrey o pino de California (*Pinus radiata*) es una especie arbórea perteneciente a la familia de las pináceas, género *Pinus*, originaria del suroeste de los Estados Unidos, principalmente California (Galaz V., 1983).

Su preferencia en la producción como especie se debe a su alta rusticidad, rápido crecimiento y su fácil manejo en las plantaciones debido a su buena adaptabilidad a diversos tipos climas y suelos (Galaz V., 1983).

Pertenece al grupo de las especies coníferas por ser una madera blanda. Se caracteriza por ser resinosa, de textura gruesa, con abundancia de nudos, permeable por lo tanto es fácil de secar y de impregnar, además es susceptible a los ataques de hongos (Galaz V., 1983).

Árbol de porte mediano a grande, que en ejemplares longevos puede alcanzar alturas de hasta 40 m y 120 cm de diámetro. El tronco es recto, cilíndrico en un comienzo y bastante cónico en casi toda su longitud. En árboles jóvenes, inicialmente la corteza es lisa y rojiza, y luego, ésta se torna marrón, áspera y se desprende en escamas. La distribución de las ramas es des uniforme, aunque en general son verticiladas, las ramas pequeñas son escamosas y rojizas. La copa es extendida con ramas largas y colgantes (Ospina & Hernandez , 2011).

Tabla 5.
Descripción taxonómica del pino radiata .

Ítem	Descripción
Familia:	Pinaceae.
Nombre científico:	Pinus radiata.
Nombre común:	Pino radiata
Nombre Comunes relacionados:	Pino insigne, pino monterrey.

Nota. Fuente: (Ecuador Forestal, 2013).

Posee una densidad Anhidra de 0.48 gr/cm³ y una densidad básica de 0.43 gr/cm³ (Ecuador Forestal, 2013).

Características macroscópicas de la madera de pino radiata.

La madera presenta una albura blanco – amarillenta y un duramen rojizo. Anillos de crecimiento muy notorios y anchos, con paso gradual entre madera de primavera y verano. Alto porcentaje de madera tardía. Canales resiníferos muy visibles en caras longitudinales. Textura gruesa y abundancia de nudos. Rayos medulares bien visibles y numerosos. Olor resinoso. Liviana, blanda, poco durable y de baja resistencia mecánica. Permeable y por lo tanto fácil de secar y de impregnar. Se asierra sin inconvenientes, comportándose normalmente en los procesos de cepillado, rasurado y machihembrado. Muy susceptible al ataque de hongos provocadores de la mancha azul. La madera de Pino radiata puede considerarse como relativamente estable al compararse con Raulí, Tapa, Laurel, etc. Las contracciones tienden a disminuir con el aumento de la edad, lo mismo con la homogeneidad de la madera. Dicho de otra manera: Un bosque de mayor edad, en el cual se ha cumplido con las debidas prácticas de poda y raleos, proporcionará madera más estable. Madera especial para fabricar elementos estructurales laminados encolados. Se le usa en revestimientos tanto interiores como exteriores. En construcción de viviendas (cerchas, paneles, pisos, cielos, etc.) En postes para cerco y de transmisión. Fabricación

de embalajes y muebles. En moldajes para concreto. Se le utiliza también como materia prima para pastas celulósicas y papel. Se considera adecuada para la fabricación de tableros de fibras y de partículas. También para maderas contrachapadas, siempre que las plantaciones hayan tenido podas a edad temprana para evitar la formación de nudos en la madera (CORMA, 2003).

2.3 Base normativa para el desarrollo de la investigación

2.3.1 Base normativa para determinación de propiedades físicas de la madera.

Ensayo para determinar el contenido de humedad (CH)

Mediante el método de secado en estufa el contenido de agua existente en la madera de pino radiata utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.010

Ensayo para determinar la densidad (D)

Determinar la relación entre el peso y el volumen de la madera de pino radiata utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.011

2.3.2 Base normativa para determinación de propiedades mecánicas de la madera.

Ensayo para determinar el esfuerzo a flexión

Determinación el esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico y el módulo de elasticidad de las probetas estándar y vigas laminadas de madera de pino radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.017

Ensayo para determinar el esfuerzo a compresión axial o paralela a la fibra.

Determinar el esfuerzo a compresión axial o paralela a la fibra, el esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico, resistencia máxima por compresión axial, carga al límite proporcional, el módulo de elasticidad y la deformación unitaria de las columnetas de madera de pino radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.014

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica donde se realizó la investigación.

La investigación tuvo lugar en dos escenarios.

3.1.1 Ubicación geográfica de ADEFOR.

El primer escenario de investigación fueron los talleres de la Asociación Civil para la Investigación y Desarrollo Forestal (ADEFOR) - Carretera al Aeropuerto Km. 3 - Fundo Tartar, ya que ellos nos proporcionaron parte de la madera de Pino Radiata de los bosques que manejan en conjunto con la Comunidad Evangélica Andina de la Granja Porcón, además que poseen las herramientas y equipos necesarios, así como el personal capacitado y con experiencia en fabricación de elementos estructurales laminados.

Tabla 6.

Ubicación geográfica de ADEFOR

Coordenadas geográficas (Gados, minutos, segundos)		Coordenadas geográficas (Grados Decimales)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Este	Norte
7°8'49.43" S	78°29'17.37" W	-7.1470644	-78.4881574	777434.54	9209236.64

Ubicación y localización de las instalaciones de “ADEFOR”

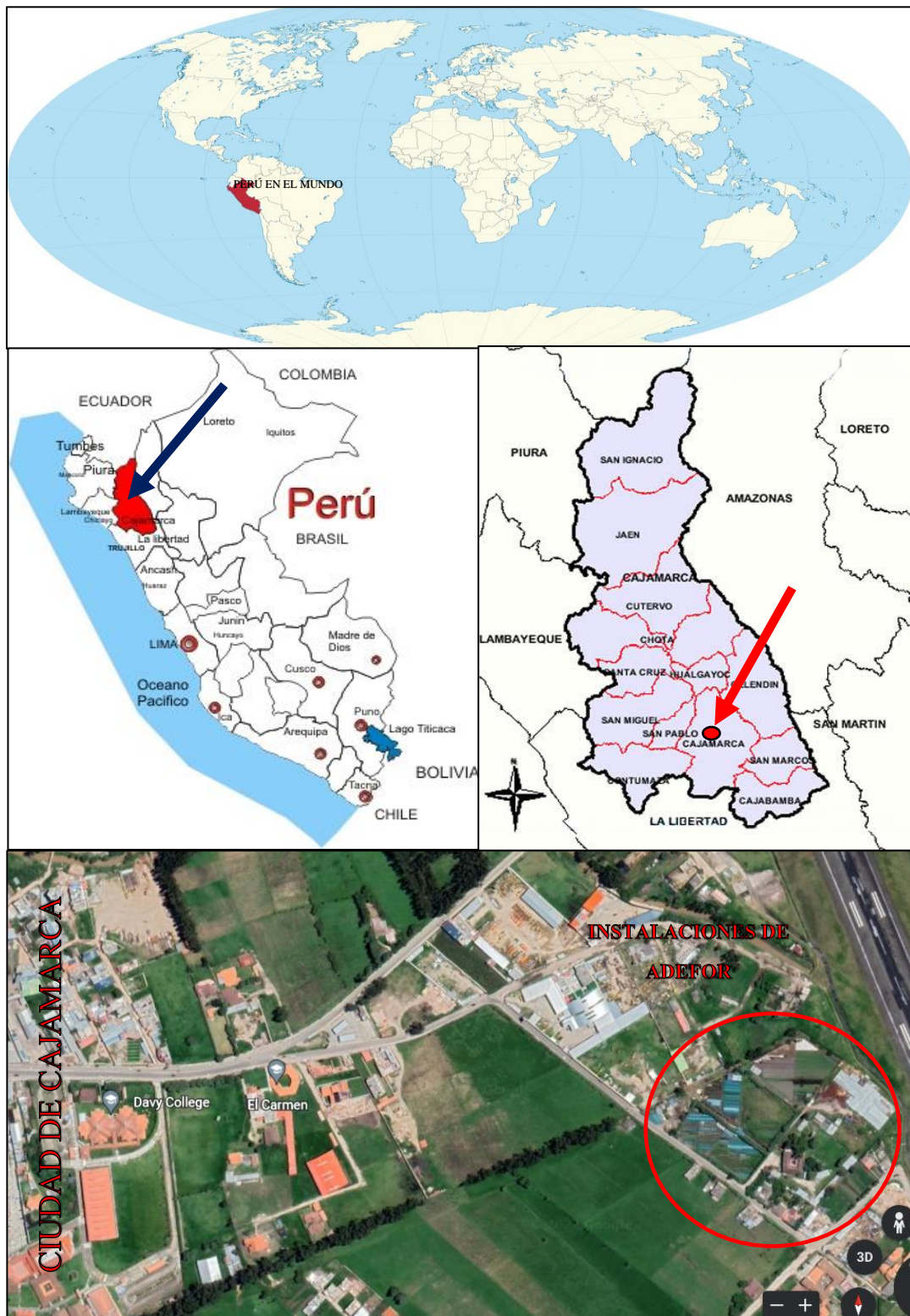


Figura 17. Ubicación geográfica de ADEFOR. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Luego de ser fabricados, los elementos de madera maciza y madera laminada fueron transportados a las inmediaciones del Laboratorio de Materiales de La Universidad Nacional de Cajamarca (Av. Atahualpa N° 1050 – Cajamarca), para ser ensayados y poder hallar las diferentes propiedades físico-mecánicas de estos.

Tabla 7.

Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Coordenadas geográficas (Gados, minutos, segundos)		Coordenadas geográficas (Grados Decimales)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Este	Norte
7°10'1.25" S	78°29'43.36" W	-7.1670136	-78.4953779	776624.5	9207033.6

Ubicación y localización de las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca

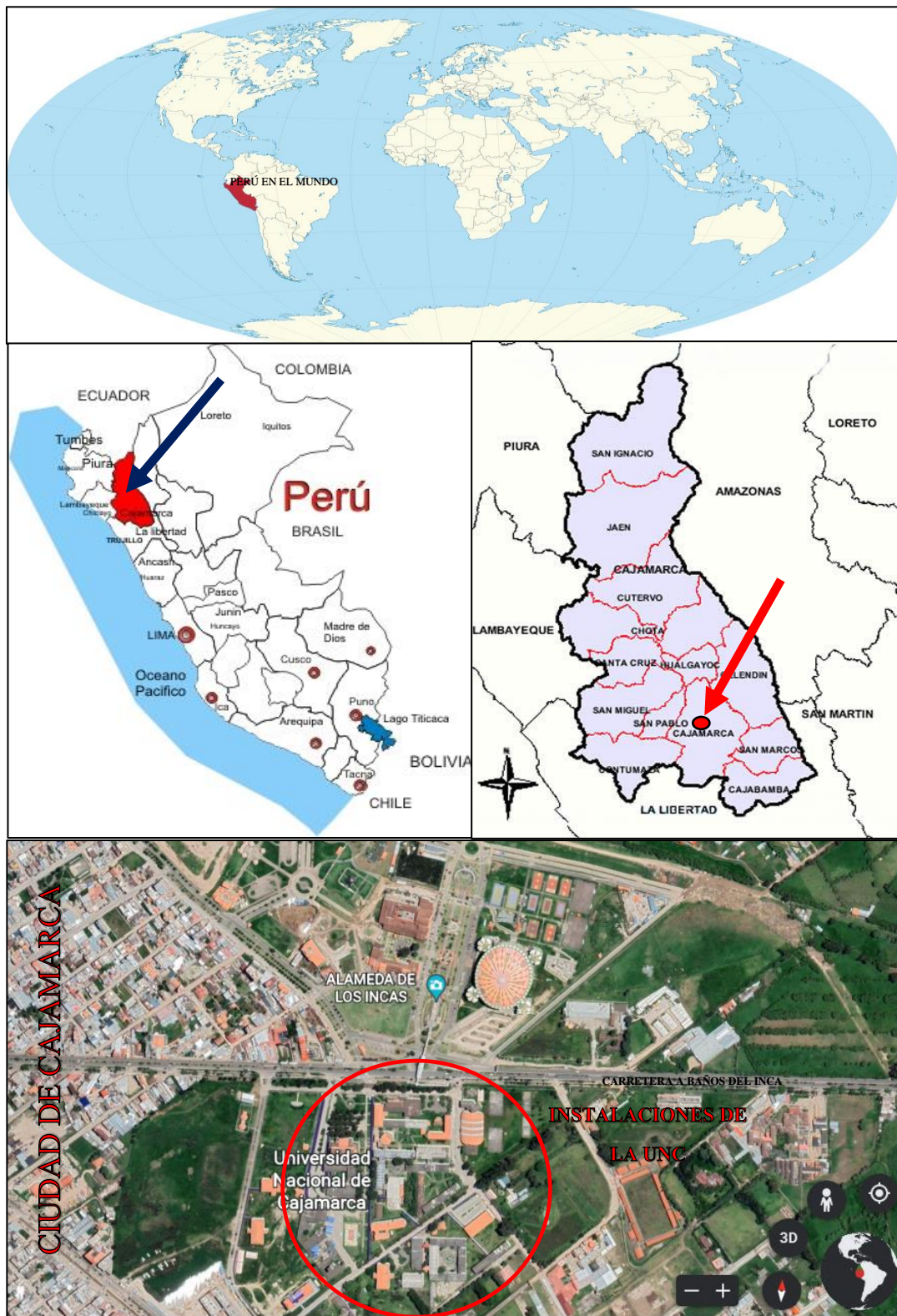


Figura 18. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2 Tipo, nivel, análisis y método de investigación.

Tipo: La investigación según su propósito es aplicada, con un enfoque cuantitativo, de corte transversal en el tiempo y pre experimental.

Nivel o alcance: Descriptiva correlacional.

Método: Pre experimental debido a que se compara el modelo de madera maciza con el modelo de madera laminada, para comparar estos elementos hacemos uso de del análisis documental, ya que nuestro análisis lo basamos en normas y reglamentos.

3.3 Población, muestra y unidad de observación.

Población

Se considera como población de estudio a los elementos estructurales de madera maciza y madera laminada de la Región Cajamarca.

Muestra

Consideramos como muestra, a las cinco vigas de madera laminada y cinco vigas de madera maciza de 4"x 8"x3.18m; y a las diez columnetas de madera laminada y diez columnetas de madera maciza de 4"x 8"x0.35m, todos los elementos de la misma madera de pino radiata.

Unidad de observación

Consideramos como unidad de Observación, a cada uno de los elementos estructurales; viga de madera laminada y viga de madera maciza de 4"x 8"x3.18m; y columneta de madera laminada y columneta de madera maciza de 4"x 8"x0.35m, de la misma madera de pino radiata.

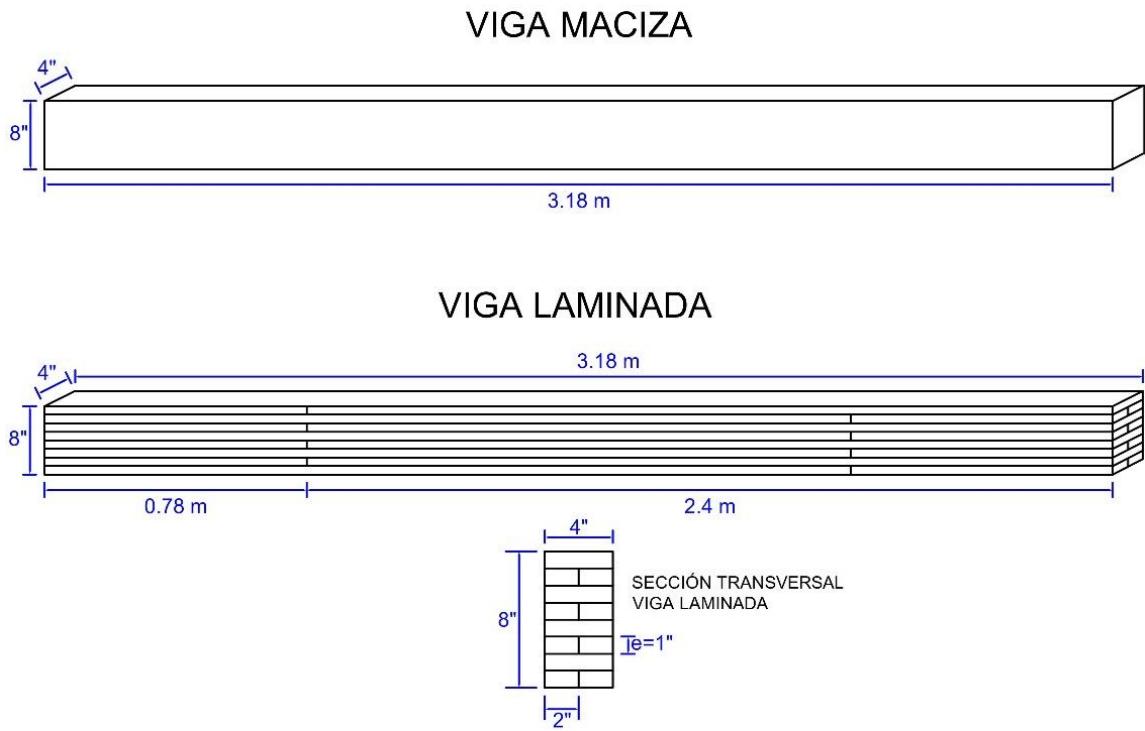


Figura 19. Detalle vigas. Elaboración propia.

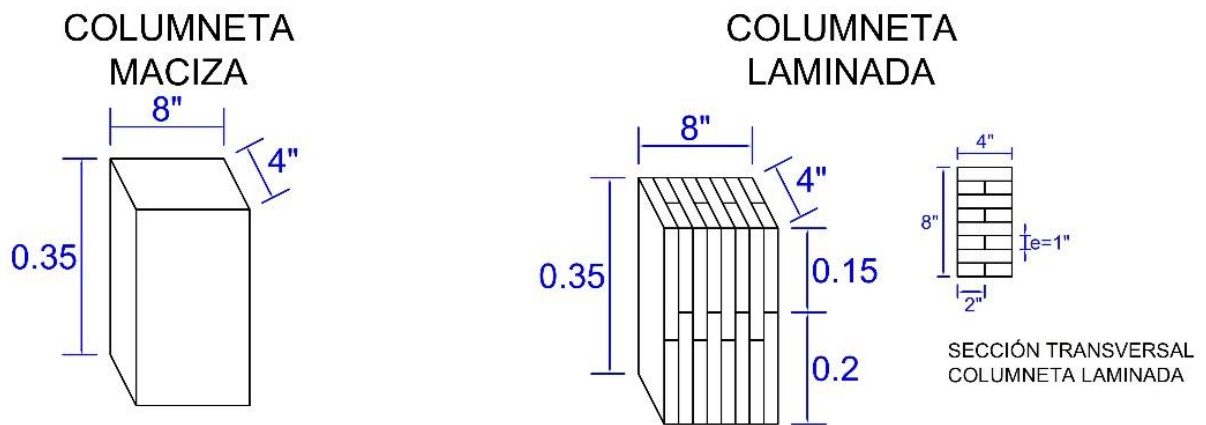


Figura 20. Detalle columnetas. Elaboración propia.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1 Técnicas

La técnica de recopilación de datos es la observación directa, ya que los resultados se observan directamente de los instrumentos de medición para su registro, esto por ser una investigación del tipo pre experimental, tanto de los ensayos mecánicos, como de los ensayos para determinar propiedades físicas de los elementos de estudio.

3.4.2 Instrumentos

Los instrumentos para esta investigación vienen a ser cuadros y fichas de registro, fotografías y videos; además las normas es las que nos hemos basado como las Normas Técnicas Peruanas y las Normas Chilenas de Construcción que se detallan en el apartado de base normativa para el desarrollo de la investigación, así como el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena.

3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

El procesamiento de los datos se llevará a cabo en forma computarizada utilizando Microsoft Office (Excel), AutoCAD, para cumplir con las siguientes etapas de la investigación.

- Consistencia de los datos. Consiste en hacer una depuración de los datos recopilados; a veces es necesario eliminar datos innecesarios, falsos o equivocados que podamos haber registrado en la recopilación de estos.
- Clasificación de la Información. Constituye una etapa clave en el tratamiento de datos. Consistirá en agrupar los datos de una manera que nos permita hacer un mejor uso y análisis de estos.
- Tabulación de los datos. Consiste en agrupar los datos por indicadores de cada dimensión que caracteriza a las variables.

- Presentación de los resultados. Consistirá en la elaboración de cuadros, tablas, gráficos, y figuras tomando como fuente la tabulación de los datos.
- Interpretación de los resultados. Se hace en función de la hipótesis y objetivos y apoyándonos en el marco teórico.
- Comprobación de la Hipótesis. La información interpretada, la contrastamos con la hipótesis, para saber si es nula o verdadera.
- Establecimiento de Conclusiones y Recomendaciones.

3.6 Maquinaria, equipos herramientas y materiales.

3.6.1 Maquinaria.

Sierra circular: Utilizado para el cuadrado de testa.

Sierra Radial: Máquina que sirve para cortar a láminas a un ancho determinado.

Cepilladora: Sirve para cepillara la madera emparejando las caras a un mismo espesor

Garlopa: Sirve para obtener la lámina al espesor requerido, además de arreglar la madera torcida.

Moto sierra: realizar cortes preliminares de la madera.

3.6.2 Equipo.

Balanza electrónica.

Horno de secado (estufa).

Gato hidráulico.

Nivel de Ingeniero

3.6.3 Herramientas

Cepillo.

Espátula.

Wincha de 5 m.

Martillo.

Llave inglesa de 12”.

Llave de boca 19-24. Cromac alloy

Abrazaderas de 5/8” de 45 cm de longitud

Lijadora angular

3.6.4 Materiales e insumos.

Las vigas de madera maciza serán enumeradas como VMi, las vigas de madera laminada serán enumeradas como VLi, con “i” de 01 a 05 en ambos casos.

Las columnetas de madera maciza serán enumeradas como CMi, las columnetas de madera laminada serán enumeradas como CLi, con “i” de 01 a 05 en ambos casos.

Las probetas estándar serán enumeradas como Pi, con “i” de 01 a 15.

Vigas laminadas encoladas:

20 láminas de Pino Radiata de 2.40 x 0.0254 x 0.1016 m (2.40m x 1” x 4”)

20 láminas de Pino Radiata de 0.78 x 0.0254 x 0.1016 m (0.78m x 1” x 4”)

40 láminas de Pino Radiata de 2.40 x 0.0254 x 0.0508 m (2.40m x 1” x 2”)

40 láminas de Pino Radiata de 0.78 x 0.0254 x 0.0508 m (0.78m x 1” x 2”)

Adhesivo 8 kg. De Tekno Cola extra secado rápido.

3 lijas abralit N°100

1.00 kg. de Clavos de 2 pulg.

0.25 kg. de papel periódico.

Prensas de madera y acero.

Columnetas laminadas encoladas:

40 láminas de Pino Radiata de 0.20 x 0.0254 x 0.1016 m (2.40m x 1" x 4")

40 láminas de Pino Radiata de 0.15 x 0.0254 x 0.1016 m (0.78m x 1" x 4")

80 láminas de Pino Radiata de 0.20 x 0.0254 x 0.0508 m (0.20m x 1" x 2")

80 láminas de Pino Radiata de 0.15 x 0.0254 x 0.0508 m (0.15m x 1" x 2")

Adhesivo 4 kg. De Tekno Cola extra secado rápido.

1 lija abralit N°100

0.5 kg. de Clavos de 2 pulg.

0.25 kg. de papel periódico.

Prensas de madera y acero.

Vigas macizas:

5 vigas de Pino Radiata de 3.18m x 0.1016m x 0.2032m. (3.18m x 4" x 8")

Columnetas macizas:

10 columnetas de Pino Radiata de 0.35m x 0.1016m x 0.2032m. (0.35m x 4" x 8")

Probetas estándar para flexión estática:

15 probetas de 0.75 m x 0.05 m x 0.05m. (5cm x 5cm x 75cm)

Características del adhesivo utilizado.

Teknocola, es un pegamento a base de poliacetato de vinilo, adecuado para la unión de todo tipo de madera entre sí. Tiene buena resistencia a la tracción y gran fuerza de cohesión, además es una cola sintética de secado rápido que desarrolla una fuerte adherencia en las uniones de madera.

Color: blanco.

Color de película: transparente.

Tipo de adhesivo: Acuoso.

Método de aplicación: brocha o espátula.

Secado en prensa: 3 horas

Rendimiento teórico: aplicado a ambas superficies – 1 kilo rinde 4 m2.

Aplicación: cepillar la madera con un cepillo de carpintero y limpiar cuidadosamente las superficies a pegar, deben estar libres de polvo, grasa o agua.

Se aplica la TEKNOCOLA con una brocha o espátula en ambas superficies a pegar, se aplica una película que cubra de blanco toda la superficie y deben quedar expuestas al medio ambiente por unos minutos. Luego se unen las superficies aplicando presión, de tal forma que puedan tener una adherencia adecuada; se logra la máxima fuerza de unión a las 24 horas.

Retirar los excesos de cola con un paño húmedo, antes de que éste seque.

Usos: Pegamento adecuado para la unión de todo tipo de madera entre sí.

3.7 Diseño de las vigas.

Se hizo un diseño de las vigas laminadas encoladas con la finalidad de determinar los esfuerzos admisibles y de acuerdo a ellos los esfuerzos de diseño.

Para determinar los esfuerzos admisibles se procedió de acuerdo a la Norma Chilena NCh 2165 of 91. Y para determinar los esfuerzos de diseño y el diseño como tal se procedió de acuerdo a la Norma Chilena NCh 1198 of 2006.

Para realizar este diseño se utilizaron los resultados obtenidos de los ensayos físicos y mecánicos realizados anteriormente a la madera, en base a estos resultados se obtuvieron los esfuerzos admisibles y luego utilizamos estos para calcular los esfuerzos de diseño con los cuales diseñamos las vigas tomando como limitación la luz libre entre los apoyos del pórtico de ensayo de tal manera que no queden apretadas y se puedan generar esfuerzos a compresión, estos diseños se presentan la sección anexos.

3.8 Determinación de las propiedades físicas de la madera.

3.8.1 Determinación del contenido de humedad (CH).

Se controló el contenido de humedad de la madera, tanto de la que se usó como madera laminada, así como la que se usó en los elementos macizos, para comprobar que estén dentro del rango que establece la Norma Chilena NCh2148 of 89 para la elaboración de madera laminada.

Para calcular el contenido de humedad en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.010.

Se calculó el contenido de humedad tanto de las probetas estándar, así como de los elementos ensayados, tanto macizos como laminados.

Ensayo para determinar el contenido de humedad (CH)

Objetivo

Determinar mediante el método de secado en estufa el contenido de agua existente en la madera de pino radiata utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.010

Equipos

Balanza electrónica, con precisión de 0.01 g.

Estufa de secado, con circulación de aire, regulable a $101\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

Importancia y uso

El contenido de humedad es una de las variables más importantes que afectan las propiedades de la madera. Los procedimientos establecidos en estos métodos de ensayo están estructurados de forma tal que permitan su aplicación en todo rango de uso, desde la investigación básica hasta el procesamiento industrial. (INACAL, 2014)

Procedimiento

Las probetas para contenido de humedad se pesan en la balanza electrónica para luego introducirlas en la estufa durante 24 horas. Luego de 24 horas se vuelven a registrar los

pesos de cada probeta de contenido de humedad y haciendo los cálculos correspondientes, se obtiene el contenido de humedad de cada probeta.

Cálculo y expresión de resultados

Se calcula con la siguiente expresión:

$$CH = \frac{(m1 - m2)}{m2} \times 100 \text{ (\%)} \quad (5)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%).

$m1$ = Masa de la probeta antes del secado en la estufa (gr).

$m2$ = Masa de la probeta después del secado en la estufa (gr).

3.8.2 Determinación de densidad.

Se mide este parámetro con la finalidad de clasificar la madera en el grupo que le corresponda según el Reglamento Nacional de Edificaciones y el Manual de diseño para maderas del grupo Andino Padt Refort que indican que el pino es una madera liviana que pertenece al grupo C y tiene una densidad entre 0.40 – 0.55 gr/cm³.

Para calcular la densidad en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.011.

Ensayo para determinar la densidad (D)

Objetivo

Determinar la relación entre el peso y el volumen de la madera de pino radiata utilizando la Norma Técnica Peruana NTP 251.011

Equipos

Balanza electrónica, con precisión de 0.01 g.

Estufa de secado, con circulación de aire, regulable a 101 °C ± 2 °C

Procedimiento

Se toman las medidas de cada probeta de densidad en cada arista, se recomienda tomar tres medidas para lograr mayor precisión, estas medidas se promedian y se calcula el volumen de cada probeta. Se registra el peso de cada probeta en la balanza electrónica para finalmente introducirlas en la estufa durante 24 horas. Luego de las 24 horas en la estufa se registran los pesos de cada probeta y haciendo los cálculos correspondientes, se obtiene las diferentes densidades de cada probeta.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular las diferentes densidades se usan las siguientes expresiones:

Densidad básica (DB): Considera la masa anhidra y el volumen de la madera saturada con agua; es la menor de las que se van a calcular, sin embargo, es la de mayor importancia porque nos permite clasificar estructuralmente a la madera en estudio, se expresa como:

$$DB = \frac{ma}{V_s} \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \quad (6)$$

Donde:

DB = Densidad básica (gr/cm³).

ma = Masa del elemento anhidra (seca al horno) (gr).

V_s = Volumen del elemento en estado verde o saturado (cm³).

Densidad verde o saturada (DS): Considera la masa de la madera verde y el volumen verde de misma.

Densidad seca al aire (Dsa): Relación que existe entre la masa de la madera seca al aire y el volumen de esta también seca al aire.

Densidad anhidra (Da): Relación que existe entre la masa de la madera seca al horno y el volumen de esta también seca al horno.

3.9 Determinación de las propiedades mecánicas de la madera.

3.9.1 Determinación de flexión estática en las vigas laminadas y macizas.

Este ensayo se realizó con la finalidad de calcular los esfuerzos y el módulo de elasticidad promedio de la madera de pino radiata que sirvió para calcular los esfuerzos admisibles en el diseño de elementos estructurales de madera laminada encolada.

Para calcular la flexión estática en la madera se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.017.

Después de secada la madera, se construyeron 15 probetas estándar, las cuales fueron ensayadas para calcular el esfuerzo a flexión promedio.

3.9.2 Flexión estática en probetas estándar

Luego de secar la madera, se habilitaron 15 probetas estándar que fueron ensayadas y se calculó el esfuerzo a flexión promedio.

Ensayo para determinar el esfuerzo a Flexión

Objetivo

Determinar el esfuerzo a flexión, el esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico y el módulo de elasticidad de las probetas estándar y vigas laminadas de madera de pino radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.017

Equipos

Máquina de ensayos universal o prensa universal.

Soporte o barra de acero para uniformizar la carga.

Deformímetro.

Nivel de ingeniero para leer las deformaciones que se producen en este ensayo.

Procedimiento

Las probetas y las vigas se colocan en la máquina de ensayo sobre apoyos en cada lado, seguidamente se coloca la barra de acero sobre las probetas, de tal manera la carga

aplicada pueda ser distribuida en todo el ancho de la probeta. La carga es aplicada progresivamente hasta la rotura, mientras la carga es aplicada se van midiendo las deflexiones con el nivel de ingeniero o deformímetro según se requiera. Esta recopilación de datos permite posteriormente en gabinete elaborar el diagrama carga – deformación. Finalmente, cuando las probetas y vigas hayan sido ensayadas, se analizará el comportamiento del elemento y el tipo de falla sufrida.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular los esfuerzos a flexión se sigue según las fórmulas siguientes:

Carga en el límite de proporcionalidad elástico (P_{lp})

Se determina al trazar una línea tangente desde cero sobre la curva carga vs deformación, la carga en el momento donde esta línea tangente se separa de la curva se considera como carga en el límite proporcional elástico, y viene a ser la máxima carga que soporta el elemento sin presentar deformaciones permanentes una vez retirada esta.

Esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico ($F_{b,f}$)

El mayor esfuerzo en el que el éste es directamente proporcional a la deformación. Es el mayor esfuerzo en el cual la curva en un diagrama esfuerzo-deformación es una línea recta, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_{b,f} = \frac{3P_{lp}L}{2bh^2} \quad (7)$$

Donde:

$F_{b,f}$ = Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm²)

P_{lp} = Carga en el límite de proporcionalidad (kg)

L = Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

b = Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

h = Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

Esfuerzo de rotura o módulo de rotura (MOR)

Resistencia máxima determinada en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$MOR = \frac{3QL}{2bh^2} \quad (8)$$

Donde:

MOR = Esfuerzo de rotura o módulo de rotura (kg/cm²)

Q = Carga de ruptura máxima (kg)

L = Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

b = Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

h = Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

Módulo de elasticidad a la flexión (MOE)

El módulo de elasticidad es la relación del esfuerzo a la deformación. Es la medida de la rigidez de un material. A mayor MOE más rígida será un material, se calcula con la siguiente expresión:

$$MOE = \frac{P_{tp}L^3}{4bh^3\delta_{tp}} \quad (9)$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad a la flexión (kg/cm²)

P_{tp} = Carga en el límite de proporcionalidad (kg)

L = Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

b = Ancho de la sección transversal de la probeta (cm)

h = Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

δ_{tp} = Deflexión en el límite de proporcionalidad (cm)

Deformación unitaria (D_u)

Es la relación entre la deformación total del elemento y su longitud inicial, no tiene unidad de medida, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_u = 6 \times \delta \times h \times L^{-2} \quad (10)$$

Donde:

D_u = Deformación unitaria

δ = Deflexión (cm)

h = Altura de la sección transversal de la probeta (cm)

L = Distancia entre soportes, luz de la probeta (cm)

3.9.3 Determinación de la resistencia a compresión axial de las columnetas de madera maciza y laminada.

Ensayo para determinar el esfuerzo a compresión axial o paralela a la fibra.

Objetivo

Determinar el esfuerzo a compresión axial o paralela a la fibra, el esfuerzo en el límite de proporcionalidad elástico, resistencia máxima por compresión axial, carga al límite proporcional, el módulo de elasticidad y la deformación unitaria de las columnetas de madera de pino radiata, para este proceso se usa la Norma Técnica Peruana NTP 251.014

Equipos

Máquina de ensayos universales o prensa universal.

Deformímetro (medidor de deflexión).

Nivel de ingeniero para leer las deformaciones que se producen en este ensayo.

Procedimiento

La carga se aplicará sobre las bases del prisma, es decir sobre una de las caras transversales del elemento, la carga debe aplicarse de forma continua durante todo el

ensayo, los datos para la curva carga – deformación se deberían tomar hasta después de la rotura de la probeta.

Cálculo y expresión de resultados

Para calcular los esfuerzos a compresión usamos las fórmulas siguientes:

Cálculo del esfuerzo al límite proporcional (ELP)

El mayor esfuerzo en el que el éste es directamente proporcional a la deformación. Es el mayor esfuerzo en el cual la curva en un diagrama esfuerzo-deformación es una línea recta, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ELP = \frac{P'}{A} \quad (11)$$

Donde:

ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²).

P' = Carga soportada por la probeta hasta el límite proporcional (kg).

A = Área de la superficie de la sección transversal de la probeta (cm²)

La carga al límite proporcional (P') se determina sobre la curva carga – deformación, trazando una tangente desde cero y que corresponde al punto de carga donde esta tangente se separa de la curva.

Cálculo de la resistencia máxima por compresión axial (RM)

$$RM = \frac{P}{A} \quad (12)$$

Donde:

RM = Resistencia máxima por compresión axial (kg/cm²).

P = Carga máxima soportada por la probeta (kg).

A = Área de la superficie de la sección transversal de la probeta (cm²).

Cálculo del módulo de elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{P'L}{AD} \quad (13)$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad (kg/cm²).

P' = Carga al límite proporcional (kg).

L = Distancia entre los apoyos (cm).

A = Área de la superficie de la sección transversal de la probeta (cm²).

D = Deformación de la probeta en el límite proporcional (cm).

3.10 Resultados

3.10.1 Resultados del ensayo propiedades físicas.

Tabla 8.

Resultados contenido de humedad y densidad básica probetas estándar.

Elemento	Contenido de Humedad	Densidad Básica (gr/cm ³)
FPS - 01	13.175%	0.482
FPS - 02	13.199%	0.458
FPS - 03	12.520%	0.450
FPS - 04	12.366%	0.483
FPS - 05	12.000%	0.474
FPS - 06	9.983%	0.446
FPS - 07	10.122%	0.412
FPS - 08	11.993%	0.426
FPS - 09	11.219%	0.397
FPS - 10	12.457%	0.422
FPS - 11	11.232%	0.479
FPS - 12	12.862%	0.448
FPS - 13	13.440%	0.446
FPS - 14	10.923%	0.400
FPS - 15	11.094%	0.483
Promedio	11.91%	0.447

Ver anexos para detalles

Tabla 9.

Resultados contenido de humedad y densidad básica vigas.

Elemento	Contenido de Humedad	Densidad Básica (gr/cm ³)
<u>Vigas Macizas</u>		
FVM 01	11.025%	0.396
FVM 02	11.111%	0.472
FVM 03	11.488%	0.404
FVM 04	11.254%	0.479
FVM 05	10.900%	0.479
Promedio	11.160%	0.446
<u>Vigas Laminadas</u>		
FVL 01	12.356%	0.504
FVL 02	11.317%	0.365
FVL 03	11.733%	0.414
FVL 04	12.063%	0.442
FVL 05	11.618%	0.478
Promedio	11.820%	0.440

Ver anexos para detalles.

Tabla 10.

Resultados contenido de humedad y densidad básica columnetas.

Elemento	Contenido de Humedad	Densidad Básica (gr/cm ³)
<u>Columnetas Macizas</u>		
FCM 01	11.707%	0.449
FCM 02	11.576%	0.458
FCM 03	11.494%	0.445
FCM 04	11.129%	0.467
FCM 05	11.415%	0.463
FCM 06	11.564%	0.461
FCM 07	11.419%	0.458
FCM 08	11.551%	0.447
FCM 09	11.690%	0.473
FCM 10	11.507%	0.460
Promedio	11.51%	0.458
<u>Columnetas Laminadas</u>		
FCL 01	11.704%	0.357
FCL 02	11.268%	0.360
FCL 03	11.740%	0.353
FCL 04	11.976%	0.363
FCL 05	11.515%	0.362
FCL 06	11.879%	0.431
FCL 07	11.837%	0.423
FCL 08	11.681%	0.417
FCL 09	11.964%	0.360
FCL 10	11.404%	0.340
Promedio	11.70%	0.377

Ver anexos para detalles.

3.10.2 Resultados del ensayo de flexión estática – probetas estándar.

Tabla 11.

Resultado promedio ensayo de flexión estática – probetas estándar.

Código	Esfuerzo Máximo (kg/cm2)	Deformación Unitaria en LR (mm/mm)	Deformación Unitaria en el LPE	Esfuerzo en el LPE (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad (KG/CM2)
P – 01	317.20	0.00570	0.00467	266.65	55900.29
P – 02	277.75	0.00802	0.00429	179.721	41818.39
P – 03	234.27	0.00685	0.00350	150.602	43470.18
P – 04	278.31	0.00628	0.00473	219.277	46213.24
P – 05	137.79	0.00436	0.00327	114.147	35300.52
P – 06	328.51	0.00649	0.00359	216.238	60894.50
P – 07	171.04	0.00418	0.00360	117.381	33255.01
P – 08	293.48	0.00725	0.00464	214.943	46222.44
P – 09	384.97	0.00750	0.00412	259.351	62944.88
P – 10	232.40	0.00223	0.00302	0.00247	115003.05
P – 11	324.36	0.00940	0.00600	232.871	39212.00
P – 12	292.32	0.00559	0.00486	247.028	50667.91
P – 13	245.83	0.00660	0.00555	216.667	39320.99
P – 14	752.09	0.01284	0.00619	541.304	87449.03
P – 15	284.69	0.01046	0.00543	298.207	54708.11
Promedio	303.67	0.00692	0.00449	218.293	54158.70

Nota. Con estos valores se procedió a diseñar los elementos macizos y laminados.

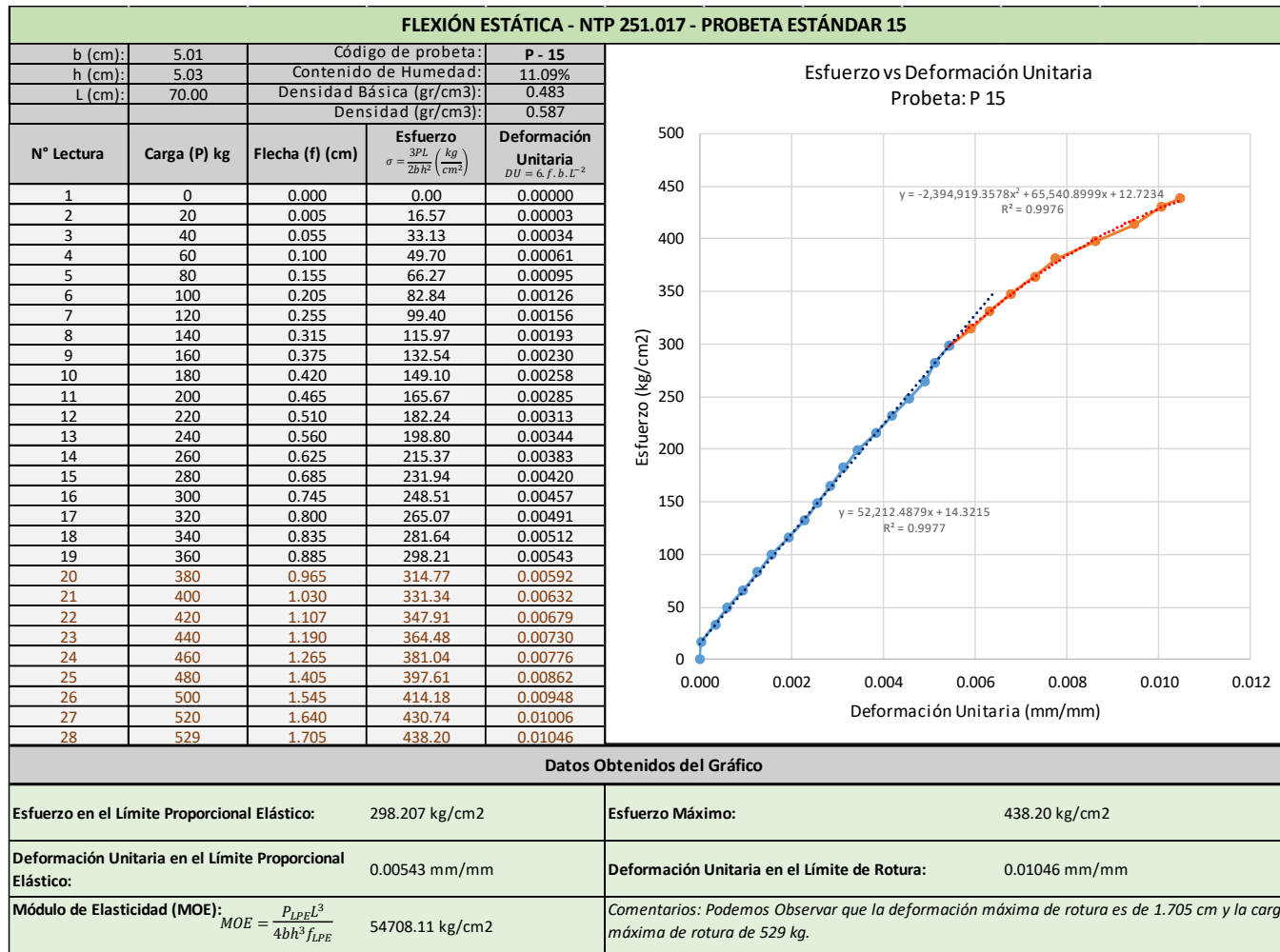


Figura 21. Ejemplo de ensayo de probeta estándar, ver anexos.

3.10.4 Resultados del ensayo de compresión paralela a la fibra – columnetas.

3.10.5.1 Resultados del ensayo de flexión estática – columnetas laminadas.

Tabla 14.

Resultados compresión paralela a la fibra en columnetas laminadas.

Código	Esfuerzo Máximo (kg/cm ²)	Carga Máxima (Tn)	Deformación Unitaria en el LPE	Esfuerzo en el LPE (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (E)
CL 01	221.99	52.50	0.00039	179.70	461152.22
CL 02	275.85	56.00	0.0063	221.66	35324.53
CL 03	257.33	52.50	0.0043	232.82	54091.92
CL 04	274.48	56.00	0.0053	208.31	39511.52
CL 05	210.40	42.50	0.0003	148.51	439251.55
CL 06	275.85	56.00	0.0063	221.66	35324.53
CL 07	249.39	50.00	0.0005	199.51	435178.37
CL 08	224.06	45.60	0.0007	171.98	247661.81
CL 09	253.05	51.50	0.0006	196.55	310899.58
CL 10	221.99	52.50	0.00039	179.70	461152.22
Promedio	246.44	51.51	0.00250	196.04	251954.83

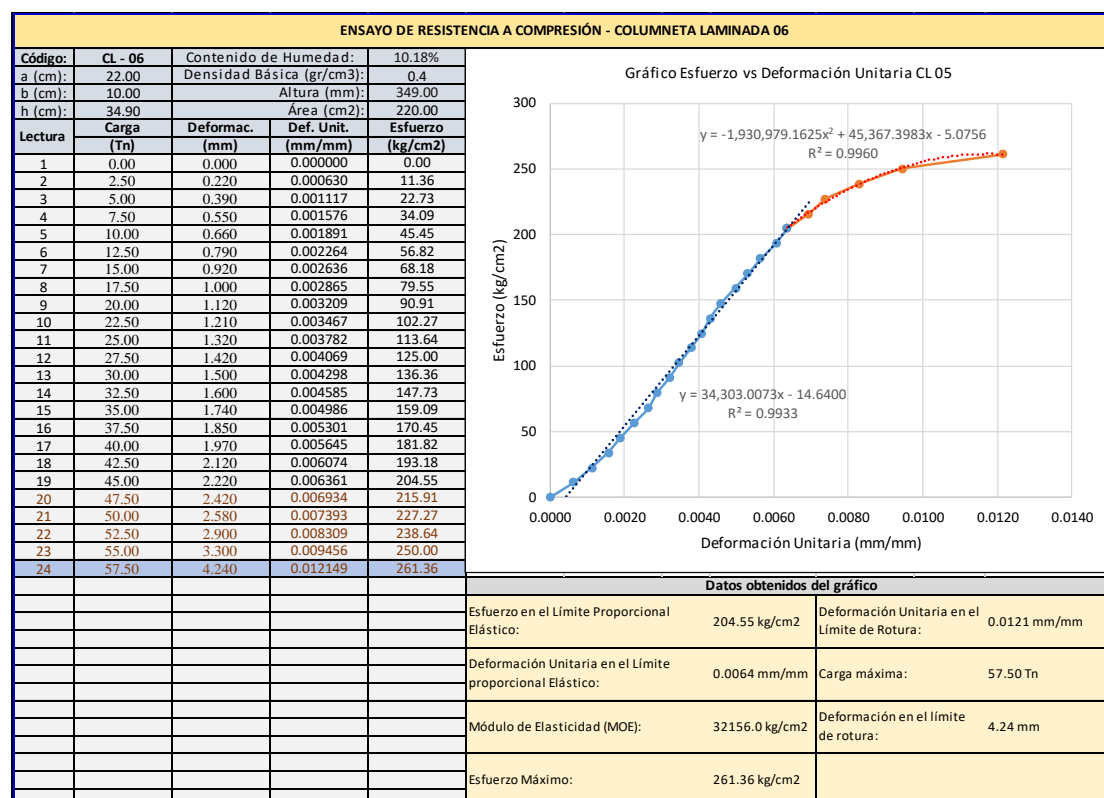


Figura 24. Ejemplo de ensayo de columneta laminada, ver anexos.

3.10.5.2 Resultados del ensayo de flexión estática – columnetas macizas.

Tabla 15.

Resultados compresión paralela a la fibra en columnetas macizas.

Código	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Carga máxima (Tn)	Deformación unitaria en el LPE (mm)	Esfuerzo en el LPE (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (E)
CM 01	390.9	82.5	0.0037	331.67	88531.70
CM 02	438.78	86.00	0.0038	344.39	90580.48
CM 03	461.91	91.00	0.0046	368.00	80494.59
CM 04	358.80	73.93	0.0044	272.20	61200.17
CM 05	325.03	65.00	0.0003	262.53	787578.76
CM 06	300.40	76.00	0.0006	247.04	428932.41
CM 07	365.00	73.00	0.0033	250.00	75869.57
CM 08	343.72	64.00	0.0004	295.38	658493.37
CM 09	307.96	59.00	0.0029	234.89	80598.05
CM 10	344.51	66.00	0.0039	300.14	77370.34
Promedio	363.70	73.64	0.0028	290.62	242964.94

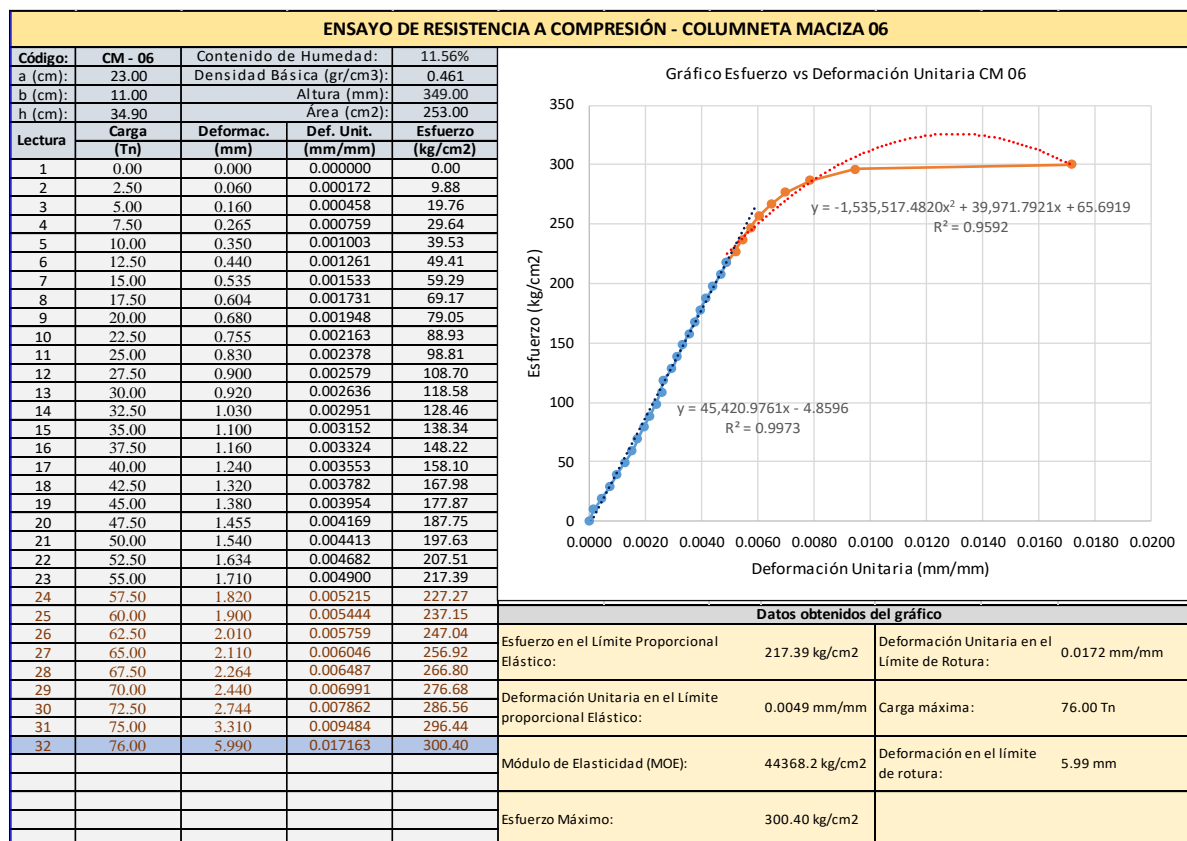


Figura 25. Ejemplo de ensayo de columneta maciza, ver anexos.

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados de los ensayos mecánicos de los elementos laminados.

4.1.1 Análisis resultados vigas.

Analizar y determinar el comportamiento mecánico de elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión y flexión con el de vigas y columnetas de madera maciza sometidos a los mismos esfuerzos.

Tabla 16.

Comparación de los ensayos de las vigas sometidas a flexión estática.

Elemento	Esf. Máx. en LR (kg/cm ²)	Def. Unit. en LR (mm/mm)	Esf. Máx. en LPE (kg/cm ²)	Def. Unit. en LPE (mm/mm)	Módulo de elásticidad (kg/cm ²)
Vigas macizas	221.724	0.00605	201.664	0.00211	41300.115
Vigas laminadas	317.514	0.00321	218.827	0.00187	66747.279

Observamos un mejor comportamiento mecánico se presenta en las vigas laminadas del tipo sándwich doble a los esfuerzos de flexión, esto se debe a que para la fabricación de estos elementos se utiliza madera seleccionada, además como se describió en la teoría de adherencia el uso del pegamento y posterior prensado en los elementos laminados mejora el comportamiento en comparación a los elementos de madera maciza, lo cual se observa en el desarrollo de una mejor resistencia tanto en el LPE como en el LR.

También contrastando estos resultados con los obtenidos en otras investigaciones similares, con vigas de madera de pino y de dimensiones parecidas, podemos observar que el comportamiento de los elementos estructurales de madera laminada sometidos a flexión es mejor que los de los elementos macizos.

Tabla 17.

Comparación de resultados con investigaciones similares de la UNC.

	Vigas maciza	Vigas laminadas	Autor	Año
Esfuerzo Máximo (kg/cm ²)	397.05	404.18	Anyaypoma	2016
	243.95	277.40	Boñón	2016
	160.64	310.53	Bueno	2017
	221.72	317.51	Edquén	2022

4.1.2 Análisis resultados columnetas.

Tabla 18.

Comparación de los ensayos de las columnetas sometidas a compresión axial.

Elemento	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Carga máxima (Tn)	Deformación unitaria en el LPE (mm)	Esfuerzo en el LPE (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (E)
Columnetas Macizas	363.70	73.64	0.0028	290.62	242964.94
Columnetas Laminadas	246.44	51.51	0.00250	196.04	251954.83

Observamos que un mejor comportamiento mecánico se presenta en las columnetas de madera maciza, frente a las laminadas tipo sándwich doble sometidos a esfuerzos de compresión axial, esto se debe a que el plano de la unión de las láminas queda paralelo al de la aplicación de la carga y al ir aplastándose las probetas estos planos comienzan a fallar convirtiéndose en un elemento no monolítico lo cual hace que se resistencia sea menor a las de madera maciza, reflejándose en un menor desarrollo de esfuerzo a la rotura.

4.2 Análisis de los resultados de los ensayos físicos.

4.2.1 Contenido de humedad

Tabla 19.
Resultados contenido de humedad.

Elemento	Contenido de humedad promedio
Probetas Estándar	11.91%
Vigas Laminadas	11.82%
Vigas Macizas	11.16%
Columnetas Laminadas	11.70%
Columnetas Macizas	11.51%
Promedio	11.62%

Observamos que el contenido de Humedad está dentro del rango que establece la Norma. NCh 2148.of89 que debe ser menos al 15% para elaboración de madera laminada, nos indica que la madera está en un estado seco al aire óptimo.

4.2.2 Densidad básica

Tabla 20.
Resultados densidad básica.

Elemento	Densidad básica promedio (gr/cm ³)
Probetas Estándar	0.447
Vigas Laminadas	0.440
Vigas Macizas	0.446
Columnetas Laminadas	0.401
Columnetas Macizas	0.458

Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de los elementos estructurales y de las probetas estándar para el ensayo a flexión estática es de 0.447 gr/cm³, con lo que según la Norma E.010 del RNE nos dice que nuestra madera pertenece al Grupo "C" por estar entre 0.40 - 0.55 gr/cm³ de densidad, ya que como esta misma Norma lo especifica el pino pertenece a este grupo considerada una madera liviana

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. En este estudio se analizó el comportamiento mecánico de elementos de madera estructural laminada tipo sándwich doble sometidos a compresión y flexión respecto al comportamiento de vigas y columnetas de madera maciza sometidos a los mismos esfuerzos, llegando a la conclusión de que las vigas con laminado tipo sándwich doble sometidas a flexión tiene un mejor comportamiento debido a que su resistencia es 1.43 veces mayor que la resistencia a flexión de las vigas de madera maciza; en el caso de las columnetas se concluye que las columnetas con laminado tipo sándwich doble tienen un peor comportamiento al ser sometidas a compresión pura paralela a la fibra debido a que su resistencia es 0.68 veces menor que la resistencia a compresión de las columnetas de madera maciza.

2. Se determinaron las propiedades físicas de la madera de Pino Radiata como:

- El contenido de humedad promedio de la madera cuando se fabricaron y ensayaron los elementos estructurales varían desde un 11% hasta un 14%, dentro del rango establecido por la Norma NCh 2148.Of89.
- La Densidad Básica promedio de la madera utilizada fue de 0.447 gr/cm³

3. Se determinaron las propiedades mecánicas de la madera de Pino Radiata

- a. Vigas Laminadas: El esfuerzo máximo 317.514 kg/cm², esfuerzo al límite proporcional elástico 218.83 kg/cm² y módulo de elasticidad 66747.3
- b. Vigas Macizas: El esfuerzo máximo 221.72 kg/cm², el esfuerzo al límite proporcional elástico 201.664 kg/cm² y módulo de elasticidad 41300.15
- c. Columnetas Laminadas: El esfuerzo al límite proporcional elástico 196.04 kg/cm², la carga máxima 51.51 Tn y módulo de elasticidad 251954.83

- d. Columnetas Macizas: El esfuerzo al límite proporcional elástico 290.62 kg/cm², la Carga Máxima 73.64 Tn y módulo de elasticidad 242964.94

4. La influencia de los nudos no es apreciable en los elementos laminados, esto debido a que se los elabora con madera seleccionada donde hay una mínima presencia de éstos; en cambio en la madera maciza solo influyen si se encuentran en la parte inferior y central de las vigas donde el momento actuante es mayor, en las columnetas no se observó efecto ya que los elementos ensayados tenían muy pocos nudos.

5.2 Recomendaciones

En función a los resultados obtenidos se plantean las siguientes sugerencias:

1. Se recomienda el uso de madera estructural laminada tipo sándwich de pino radiata en la construcción de viviendas en nuestra región y a nivel nacional, sobre todo su uso en vigas ya que esta posee ventajas respecto a las de madera maciza por poseer resistencia mayor y uniforme, además pueden ser fabricadas de las dimensiones que uno necesite, asimismo que la madera de pino radiata es abundante en nuestra Región Cajamarca.

2. Continuar con la rama de investigación en temas como:

- Estudiar el comportamiento de elementos estructurales laminados en otros tipos de madera por ejemplo de madera eucalipto (*Eucalyptus globulus*) que es otra de las especies de árbol que abunda en nuestra región.
- Estudiar sobre el comportamiento de diferentes tipos de unión o conexión entre viga y columna entre elementos estructurales de madera laminada y entre elementos de madera laminada y acero o concreto armado, con la finalidad de utilizarlas en la construcción de edificaciones a manera de sistema estructural.

3. Con los resultados obtenidos en esta y anteriores investigaciones en el área de madera estructural laminada en la Universidad Nacional de Cajamarca se debe elaborar un manual de diseño, construcción y aplicación de estos elementos para uso de nuestra

población cajamarquina que con el tiempo pueda servir como base para la implementación en la normativa nacional como tienen otros países o como el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, elaborado por la Junta del Acuerdo de Cartagena en 1984.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ananías, R. 1993. *Apuntes de Anatomía de la Madera*. Chile.
- Anyaypoma, R. 2015. Evaluación del comportamiento en flexión de Vigas laminadas tipo Sándwich de Pino Radiata. (*Tesis*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Barrera, J. A. 2010. La Madera Laminada: Una Alternativa Estructural y Ambiental. *Revista el Mueble y la Madera M&M*. Obtenido de <https://docplayer.es/21445272-La-madera-laminada-una-alternativa-estructural-y-ambiental-arquitectura.html>
- Boñón Mendoza, Ó. 2016. *Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Brotóns, P. U. 2011. *Construcción de Estructuras de Madera*. Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Bueno Valera, J. R. 2017. Análisis Comparativo de la Resistencia a Flexión entre Vigas Macizas y Vigas Laminadas, Encoladas y Prensadas, Tipo Sandwich Utilizando Madera de Pino Radiata, en Cajamarca. *Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Cartes Miranda, S., Gonzáles Retamal, M., & Padilla Reyes, J. (Agosto de 2017). Actualizar Tensiones Básicas Admisibles de Madera aserrada de Pino Radiata para Uso de Elementos Laminados. *Simposio de Habilitación Profesional*. Chile. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fpositoriodigital.ucsc.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F25022009%2F1424%2FCartes%252C%2520Sebastian.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw03xqjU-KKzytIvMXhqzl0m&ust=1600296906167000&source=images&cd=vfe&v>

- Carton, C. 2014. Pioneros del oro verde - El Poncho Verde de los Andes del Perú. *Xilema* Vol. 27.
- Chiarrello B., M. V. 2016. *Elementos Estructurales de Madera*. Maturín, Venezuela. Obtenido de https://www.academia.edu/33178395/INSTITUTO_UNIVERSITARIO_POLIT%C3%89CNICO_SANTIAGO_MARI%C3%91O_ESCUELA_DE_INGENIERIA_CIVIL
- Construmática. 16 de Marzo de 2020. *Construmática, Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Madera>
- CORMA, C. C. 2003. *Compendio de Directrices para la Enseñanza en Ingeniería*. Chile. Obtenido de https://www.academia.edu/9410332/Centro_de_Transferencia_Tecn%C3%B3logica
- Cuevas, E. 2003. *Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera*. Talca: Universidad de Talca.
- Ecuador Forestal. 6 de marzo de 2013. *Ecuador Forestal*. Obtenido de <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>
- Fritz Durán, A. 2004. *Manual de Construcción de Viviendas en Madera*. Chile.
- Galaz V., P. 1983. *Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas*. Santiago de Chile.
- Giménez, A., Moglia, J., Hernández, P., & Gerez, R. 2005. *Anatomía de la Madera*. Santiago de Estero.
- JUNAC, J. d., & PADT-REFORT, P. Á. 1984. *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Lima, Perú: Junta del Acuerdo de Cartagena.

- Llamazares, M. 11 de 07 de 2016. *Maderas Llamazares*. Recuperado el 25 de 03 de 2020, de <https://www.facebook.com/maderasllamazares/posts/1639355793051213/>
- LOMASTUDIO. 11 de 12 de 2018. *LOMASTUDIO Fábrica de Puertas y Ventanas de Madera*. Recuperado el 25 de 3 de 2020, de <https://www.ventanasdemadera.losma.es/madera-laminada-o-maciza/>
- López Merreros, S., & Ríos Justiniano, O. M. 2001. Ensayo de Uniones Empernadas con Madera de Aliso. *Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- LUFE. 28 de Marzo de 2018. *Muebles LUFE*. Obtenido de <https://muebleslufe.com/blog/como-leer-los-anillos-de-un-arbol/>
- Maderea. 2016. *Maderea*. Obtenido de <https://www.maderea.es/madera-maciza-y-madera-laminada/>
- NCh 1198 of 2006. 2006. *Diseño en Madera*. Santiago de Chile.
- Nch 2150.Of89. 1991. *Madera laminada encolada - Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata*. Santiago de Chile.
- Norma E.010. 09 de Junio de 2006. Madera. *Agrupamiento de Maderas para uso Estructural*. Lima, Perú: Diario Oficial el Peruano.
- NTP 251.010. 2014. *Norma Técnica Peruana: Métodos para Determinar el Contenido de Humedad*. INACAL.
- NTP 251.011. 2014. *Norma Técnica Peruana: Método para determinar la densidad*. INACAL.
- Ospina, C., & Hernandez , R. 2011. *Guías Silviculturales: El Pino Pátula*. Colombia.
- Pérez Méndez, V. M. 2010. *Análisis de las Propiedades Físico Mecánicas para un Sustituto de Madera Natural Elaborado a Base de Plásticos Reciclados*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala.

Pérez, V. 1992. *Manual de Madera Laminada*. Santiago de Chile.

Reforestadora Amazónica. 11 de 05 de 2022. *Plantaciones forestales en cajamarca*.

Obtenido de Repositorio INIA: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiY05DP4tf3AhXRFrkGHXSJCtgQFnoECBYQAQ&url=http%3A%2F%2F repositorio.inia.gob.pe%2Fbitstream%2F20.500.12955%2F1028%2F1%2FVillar-Estimaci%25C3%25B3n_de_vol%25C3%25BAmenes_maderables_en_

Richter, H. G., Gembruch, K., & Koch, G. 2017. *CITESwoodID*. Obtenido de <https://www.delta-intkey.com/citeswood/es/intro.htm>

Rivero, J. 2003. Propiedades físico-mecánicas de la madera. *COS Madera*, 30 - 40.

Universidad Católica del Norte. (2009). *Laboratorio de Propiedades de la Madera*. Chile.

Vásquez Montoya, D. P., Olivas Medina, R. C., & Solís Moreno, G. (2008). Diseño de una Edificación de Madera por el Método de Resistencia Última. *Monografía para optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico.

Construcción de elementos estructurales



1. Elección de las trozas de madera de pino radiata de ADEFOR.



2. Habilitación primaria de la madera para el aserrado y posterior cepillado.



3. Luego del cepillado obtenemos las láminas de 1 ¼" de espesor, para posterior secado



4. Secado al aire de láminas de madera de 1 ¼" espesor para fabricación de elementos laminados.



5. Una vez secas las láminas de 1 ¼" de espesor, se procede a obtener las láminas de 1" de espesor en sus diferentes longitudes, removiendo cualquier irregularidad que haya quedado para el posterior encolado.



6. Armado de los elementos laminados sobre caballetes y base de madera, aplicando 1 mm de espesor de pegamento con una espátula en todas las superficies de contacto y siguiendo la configuración planteada.



7. Prensado de los elementos laminados, se recomienda una presión entre 7 a 10 kg/cm², se usaron 07 prensas en total uniformemente distribuidas en toda la longitud de elemento laminado.



8. Lijado y pulido de las caras y cantos de los elementos laminados quedando listos para el transporte al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca para sus respectivos ensayos.



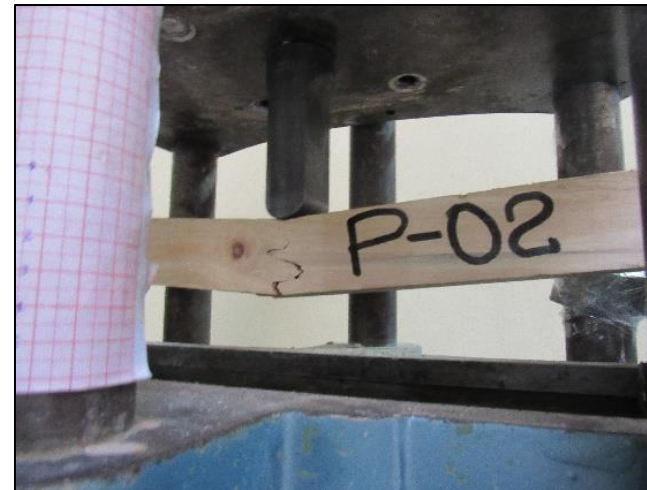
9. Obtención de las columnetas de madera maciza y madera laminada siguiendo el mismo procedimiento que se usó para la obtención de las vigas.

Ensayos para determinar propiedades físicas.



1. Determinación de las propiedades físicas de la madera como contenido de humedad, contracciones y densidades mediante la obtención de pesos y medidas en sus diferentes estados.

Ensayo a flexión probetas estándar.



1. Ensayo a flexión de probetas estándar.

Ensayo a flexión vigas macizas.



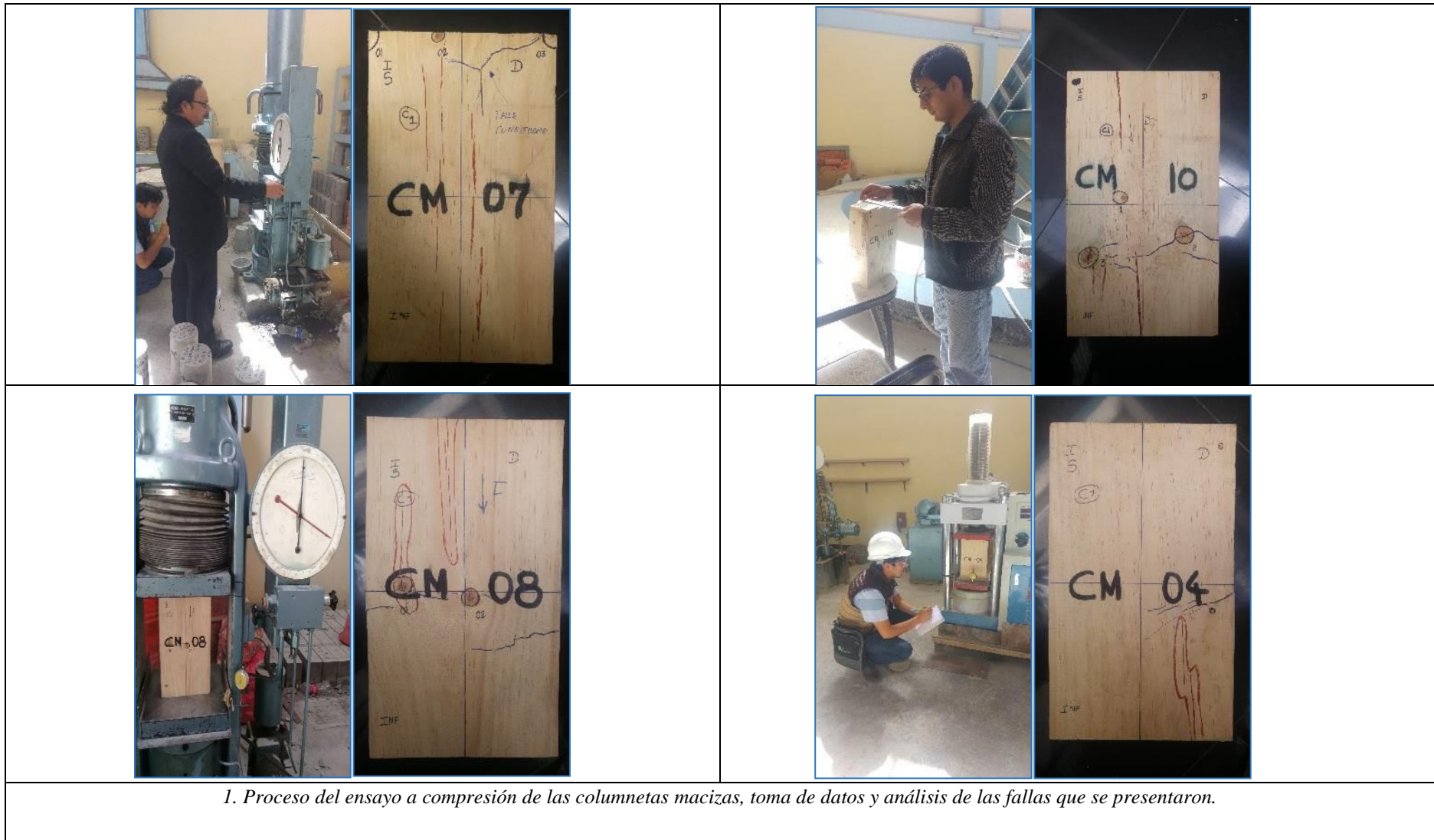
1. Proceso del ensayo a flexión de las vigas macizas, toma de datos y análisis de las fallas que se presentaron.

Ensayo a flexión vigas laminadas.



1. Proceso del ensayo a flexión de las vigas laminadas, toma de datos y análisis de las fallas que se presentaron.

Ensayo a compresión paralela a las fibras columnetas macizas.



1. Proceso del ensayo a compresión de las columnetas macizas, toma de datos y análisis de las fallas que se presentaron.

Ensayo a compresión paralela a las fibras columnetas laminadas.

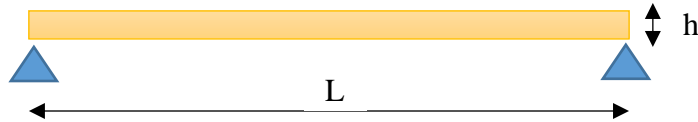


1. Proceso del ensayo a compresión de las columnetas laminadas, toma de datos y análisis de las fallas que se presentaron.

Anexo 2. Diseño de vigas laminadas encoladas rectas – NCh 2165 of 91.

1. Consideraciones de Diseño.

Sistema estático:



Tipo de estructura: viga recta, sección continua.

Pendiente (f): $f = 0^\circ$

2. Predimensionamiento.

Luz libre (L_l): Medida entre los apoyos del pórtico de ensayo

$$L_l = 3.00 \text{ m}$$

Longitud horizontal (L): De acuerdo a la longitud que permite el pórtico de ensayo (3.22m)

$$L = 3.18 \text{ m}$$

Altura de la viga (h): De acuerdo al Manual de madera laminada $h = L/17$

$$h = 3.0\text{m}/17 = 0.18 \text{ m} \approx 0.20 \text{ m, como el espesor de las láminas serán de 1''}$$

usaremos 08 láminas, entonces resulta

$$h = 0.20 \text{ m} \approx 8''$$

Ancho de la viga (b): De acuerdo a la escuadría según el Manual de Madera Laminada

para $h = 204 \text{ mm}$ le corresponde $b = 105 \text{ mm}$, entonces usaremos

$$b = 0.10 \text{ m} \approx 4''$$

Espesor de lámina (e):

$$e = 0.0254 \text{ m} \approx 1''$$

Número de láminas (n): Se usarán 08 láminas de 1'' de espesor para lograr una altura de 8''

$$n = 08 \text{ láminas}$$

3. Condiciones de servicio.

Clasificación visual de la madera: **grado B.**

3.1 Propiedades geométricas del elemento estructural

3.1.1 Momento de inercia de la sección transversal de viga en función de X (I_X)

$$I_X = \frac{bh^3}{12} = \frac{10.16\text{cm} \times (20.32 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_X = 7103.00 \text{ cm}^4$$

3.1.2 Módulo de flexión (W)

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{10.16\text{cm} \times (20.32\text{cm})^2}{6}$$

$$W = 699.00\text{ cm}^3$$

3.2 Resultados de ensayos (probetas estándar)

3.2.1 Esfuerzo básico en flexión ($F_{b,f}$)

$$F_{b,f} = 284.69\text{ kg/cm}^2$$

3.2.2 Módulo de elasticidad ($E_{L,b}$)

$$E_{L,b} = 54158.70\text{ kg/cm}^2$$

3.3 Propiedades físicas de la madera

3.3.1 Contenido de humedad de la madera (CH)

$$CH = 11.91\%$$

3.3.2 Densidad de la madera (ρ)

$$\rho = 495.5\text{ kg/m}^3$$

3.4 Solicitaciones

3.4.1 Consideraciones de las solicitaciones

Duración de carga en años (t): 10 años

Distancia entre vigas (D_v) = 1.00 m

Carga adicional por entablado (Q_e) = 20.00 kg/m²

Sobrecarga para uso de vivienda unifamiliar (Q_v) = 100.00 kg/m²

3.4.2 Cargas permanentes (CM)

3.4.2.1 Carga por peso propio (W_{pp})

$$W_{pp} = \rho \times b \times h = 495.5\text{ kg/m}^3 \times 0.1016\text{ m} \times 0.2032\text{ m}$$

$$W_{pp} = 10.23\text{ kg/m}$$

3.4.2.2 Carga adicional por entablado (W_{ma})

$$W_{ma} = Q_e \times D_v = 20.00\text{ kg/m}^2 \times 1.00\text{ m}$$

$$W_{ma} = 20.00\text{ kg/m}$$

3.4.3 Cargas variables (CV)

3.4.3.1 Sobrecarga uso vivienda unifamiliar (W_{sc})

$$W_{sc} = Q_v \times D_v = 100.00\text{ kg/m}^2 \times 1.00\text{ m}$$

$$W_{sc} = 100.00\text{ kg/m}$$

3.4.4 Cargas total (W_t)

$$W_t = W_{pp} + W_{ma} + W_{sc} = 10.23\text{ kg/m} + 20.00\text{ kg/m} + 100.00\text{ kg/m}$$

$$W_t = 130.23\text{ kg/m}$$

3.5 Cálculo de momentos

3.5.1 Momento máximo para carga total ($M_{max t}$)

$$M_{max t} = \frac{W_t x L^2}{8} = \frac{130.23 \frac{kg}{m} x (3.18 m)^2}{8}$$

$$M_{max t} = 164.61 \text{ kg.m}$$

3.5.2 Momento máximo por sobrecarga total ($M_{max sc}$)

$$M_{max sc} = \frac{W_{sc} x L^2}{8} = \frac{100.00 \frac{kg}{m} x (3.18 m)^2}{8}$$

$$M_{max sc} = 126.41 \text{ kg.m}$$

3.6 Cálculo de cortantes

3.6.1 Cortante máxima para carga total ($V_{max t}$)

$$V_{max t} = \frac{W_t x L}{2} = \frac{130.23 \frac{kg}{m} x (3.18 m)}{2}$$

$$V_{max t} = 207.10 \text{ kg}$$

3.6.2 Cortante máxima para sobrecarga total ($V_{max sc}$)

$$V_{max sc} = \frac{W_{sc} x L}{2} = \frac{100.00 \frac{kg}{m} x (3.18 m)}{2}$$

$$V_{max sc} = 159.00 \text{ kg}$$

4. Cálculo de deformaciones máximas admisibles – NCh 2165 of 91.

4.1 Deformación admisible para carga total (Δ_t)

$$\Delta_t = L/360 = 318.00 \text{ cm}/360 = 1.06 \text{ cm}$$

4.2 Deformación admisible para sobrecarga total (Δ_{sc})

$$\Delta_{sc} = L/300 = 318.00 \text{ cm}/360 = 0.883 \text{ cm}$$

5. Cálculo de esfuerzos admisibles – NCh 2165 of 91.

5.1 Esfuerzo admisible a flexión (F_f)

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f}$$

5.1.1 Factor k , de acuerdo a “ h ” de la viga ($h \leq 375 \text{ mm}$)

$$k = 0.85$$

5.1.2 Esfuerzo básico en flexión ($F_{b,f}$), (obtenido del ensayo)

$$F_{b,f} = 284.69 \text{ kg/cm}^2$$

5.1.3 Razón de resistencia en flexión (RR_f)

$$RR_f = (1 + 3R_i)(1 - R_i)^3(1 - (R_i/2))$$

5.1.3.1 Factor R_i

$$R_i = \frac{IK}{IG} = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z}$$

5.1.3.1.1 Valor de N

$$N = \text{número de láminas}/2 = 8/2$$

$$N = 4$$

5.1.3.1.2 Calculamos $\sum_0^n Z$ y $\sum_0^n Z^2$ según la norma NCh 2165 of 91

$$\sum_0^n Z = 2N^3 = 2 \cdot 4^3 = 128$$

$$\sum_0^n Z^2 = 0.4[N(9N^4 - 5N^2 + 1)] = 0.4[4(9 \cdot (4)^4 - 5(4)^2 + 1)] = 3560$$

5.1.3.1.3 Calculamos x_i , d_i según norma NCh 2165 of 91

$$x_i = 0.145$$

$$d_i = 0.695$$

Reemplazamos los valores hallados en la ecuación del factor R_i :

$$R_i = \frac{IK}{IG} = x_i + d_i \cdot \frac{(\sum_0^n Z^2)^{1/2}}{\sum_0^n Z} = 0.145 + 0.695 \cdot \frac{(3560)^{1/2}}{128} = 0.469$$

Reemplazamos los valores hallados en la ecuación de la razón de resistencia factor R_i :

$$RR_f = [1 + 3R_i] (1 - R_i)^3 (1 - (R_i/2)) = [1 + 3 \times 0.47] (1 - 0.47)^3 (1 - (0.47/2)) = 0.276 \leq 0.50$$

$$RR_f = 0.50$$

∴ Finalmente calculamos el esfuerzo admisible en flexión:

$$F_f = k \cdot RR_f \cdot F_{b,f} = 0.85 \times 0.5 \times 285.69 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_f = 121.42 \text{ kg/cm}^2$$

5.2 Módulo de elasticidad admisible (E_L)

$$E_L = 0.95 E_{L,b} = 0.95 \times 54158.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_L = 51450.77 \text{ kg/cm}^2$$

6. Cálculo de esfuerzos de diseño – NCh 1198 of 2006

6.1 Esfuerzo de diseño de flexión:

$$F_{f \text{ dis}} = F_f \cdot K_{\text{modificación}}$$

6.1.1 Esfuerzo admisible en flexión (del cálculo anterior)

$$F_f = 121.42 \text{ kg/cm}^2$$

6.1.2 Factores de modificación

6.1.2.1 Factor de modificación por contenido de humedad (K_H)

$$K_H = 1 - \Delta H \times \Delta R$$

6.1.2.1.1 Diferencia entre el contenido de humedad de servicio (CH_S) y el de la Norma (12%)

$$\Delta H = CH_S - 12\% = 11.91\% - 12\%$$

$$\Delta H = -0.09\%$$

6.1.2.1.2 Variación de la resistencia por cada 1% de variación de contenido de humedad,

$$\Delta R = 0.0205$$

$$\text{Entonces } K_H = 1 - \Delta H \times \Delta R = 1 - (-0.09) \times (0.0205) = 1.002 \approx 1$$

$$K_H = 1.00$$

6.1.2.2 Factor de modificación por duración de carga (K_D) – NCh 1198 of 91.

Tiempo asumido = 10 años = 315'418,184 seg

$$K_D = \frac{1.747}{t^{0.0464}} + 0.295 = \frac{1.747}{315418184^{0.0464}} + 0.295 = 0.9996 \approx 1$$

$$K_D = 1.00$$

6.1.2.3 Factor de modificación por temperatura (K_T) – NCh 1198 of 91.

Ya que no habrá variaciones de temperatura marcadamente superiores a las normales

$$K_T = 1.00$$

6.1.2.4 Factor de modificación por tratamiento químico (K_Q) – NCh 1198 of 91.

Ya que no se hizo tratamiento químico

$$K_Q = 1.00$$

6.1.2.5 Factor de modificación por volcamiento ($K_{\lambda V}$) – NCh 1198 of 91.

Si $h/b \leq 2$, entonces $K_{\lambda V} = 1.00$;

$$h/b = 0.2032 / 0.1016 = 2.00$$

$$K_{\lambda V} = 1.00$$

6.1.2.6 Factor de modificación por volumen (K_V) solo para esfuerzo a flexión.

$$K_V = \left(\frac{6.40}{L}\right)^{1/10} \times \left(\frac{300}{h}\right)^{1/10} \times \left(\frac{135}{b}\right)^{1/10} \leq 1.00$$

$$K_V = \left(\frac{6.40}{3.18}\right)^{1/10} \times \left(\frac{300}{200}\right)^{1/10} \times \left(\frac{135}{100}\right)^{1/10} = 1.15, \text{ entonces}$$

$$K_V = 1.00$$

6.1.2.7 Factor de modificación por trabajo conjunto (K_C) – NCh 1198 of 91.

Aplica cuando distancia entre vigas (D_V) es menor a 610 mm, como en nuestro diseño $D_V = 1000$ mm las vigas ya no trabajan en conjunto, entonces:

$$K_C = 1.00$$

6.1.2.8 Factor de modificación por altura (K_{hf}) – NCh 1198 of 91.

Para vigas rectas de pino radiata con altura superior a 90 mm, la expresión que se debe considerar es:

$$K_{hf} = \left(\frac{90}{h}\right)^{1/5} \leq 1.00 \quad K_{hf} = \left(\frac{90}{203.2}\right)^{1/5} = 0.85$$

$$K_{hf} = 0.85$$

Finalmente calculamos el esfuerzo de diseño a flexión:

$$F_{f\,dis} = F_f \cdot K_{modificación}$$

Esfuerzo de diseño en flexión para las zonas flexotraccionada y flexocomprimida.

$$F_{f\,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_Q \cdot K_V \cdot K_C \cdot K_{hf} = 121.42 \text{ kg/cm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.85$$

$$F_{f\,dis} = 103.21 \text{ kg/cm}^2$$

7. Cálculo de deformaciones de diseño – NCh 1198 of 2006.

7.1 Deformaciones por carga total:

7.1.1 Deformación instantánea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5 \times q_t \times L^4}{384 \times E_L \times I} = \frac{5 \times (130.23/100) \times 318^4}{384 \times 51450.77 \times 7130}$$

$$\delta_{inst} = 0.473 \text{ cm}$$

7.1.2 Deformación total por corte (δ_Q)

Si $L/h < 20$ se desprecia la deformación por corte; $318 \text{ cm}/20.32 \text{ cm} = 15.65 < 20$, se debe verificar la deformación por corte.

$$\delta_Q = \frac{1.2 M_{MAXt}}{G.A}; \quad (\text{módulo de corte}) G = \frac{E_{L,b}}{15} = \frac{54158.70 \text{ kg/cm}^2}{15} = 3610.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_Q = \frac{1.2 \times 164.61 \text{ kg.m} \times 100}{3610.58 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 10.16 \text{ cm} \times 20.32 \text{ cm}}$$

$$\delta_Q = 0.027 \text{ cm}$$

7.1.3 Deformación por carga total (δ_{tot})

$$\delta_{tot} = \delta_{inst} + \delta_Q = 0.473 \text{ cm} + 0.027 \text{ cm}$$

$$\delta_{tot} = 0.50 \text{ cm}$$

7.2 Deformaciones por sobrecarga:

7.2.1 Deformación instantánea por flexión (δ_{inst})

$$\delta_{inst} = \frac{5 \times q_t \times L^4}{384 \times E_L \times I} = \frac{5 \times (100/100) \times 318^4}{384 \times 51450.77 \times 7130}$$

$$\delta_{inst} = 0.363 \text{ cm}$$

7.2.2 Deformación total por corte (δ_Q)

$$\delta_Q = \frac{1.2 M}{G.A} = \frac{1.2 \times 120.125 \text{ kg.m} \times 100}{3610.58 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 10.16 \text{ cm} \times 20.32 \text{ cm}}$$

$$\delta_Q = 0.019 \text{ cm}$$

7.2.3 Deformación por carga total (δ_{tot})

$$\delta_{tot} = \delta_{inst} + \delta_Q = 0.363 \text{ cm} + 0.019 \text{ cm}$$

$$\delta_{tot} = 0.382 \text{ cm}$$

8. Cálculo de esfuerzos de trabajo – NCh 1198 of 2006.

8.1 Esfuerzo de trabajo en flexión (f_f)

$$f_f = \frac{M_{max}}{W}$$

$$f_f = \frac{164.61 \text{ kg.m (100)}}{699.00 \text{ cm}^3}$$

$$f_f = 23.55 \text{ kg/cm}^2$$

8.2 Esfuerzo de trabajo en cizalla (f_{cz})

$$f_{cz} = \frac{1.5 Q}{b \cdot h}$$

$$f_{cz} = \frac{1.5 \times 207.10 \text{ kg}}{10.16 \text{ cm} \times 20.32 \text{ cm}}$$

$$f_{cz} = 1.50 \text{ kg/cm}^2$$

9. Verificación de condiciones de diseño – NCh 1198 of 2006.

9.1 Verificación de esfuerzo de trabajo en flexión / esfuerzo de diseño en flexión

$$\frac{f_f}{F_{f.dis}} < 1$$

$$\frac{23.55 \text{ kg/cm}^2}{103.21 \text{ kg/cm}^2} < 1$$

$$0.23 < 1 \quad \text{ok}$$

9.2 Verificación de la deformación por carga total / deformación admisible por carga total

$$\frac{\delta_{tot.sc}}{\Delta_t} < 1$$

$$\frac{0.50 \text{ cm}}{1.06 \text{ cm}} < 1$$

$$0.47 < 1 \quad \text{ok}$$

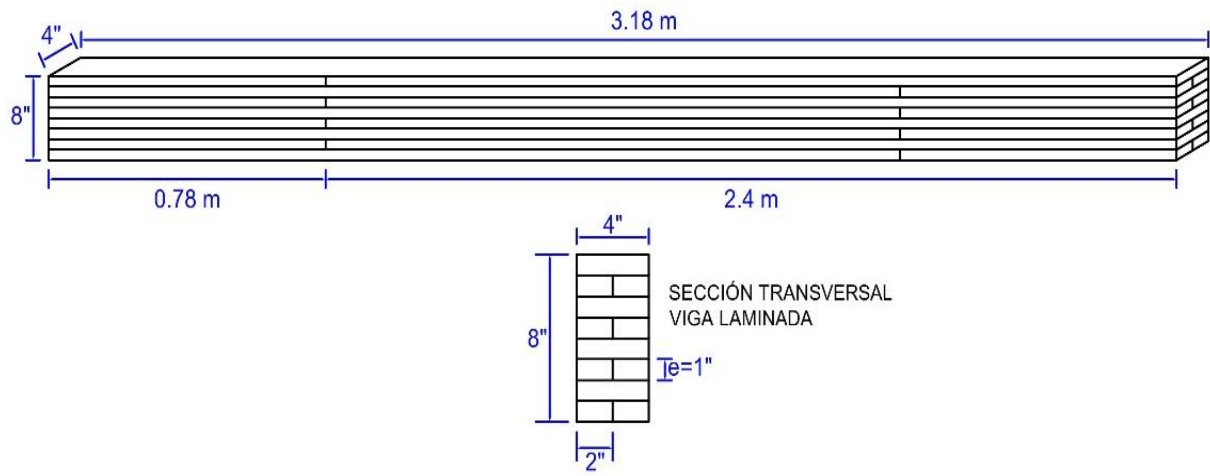
9.3 Verificación de la deformación por sobrecarga total / deformación admisible por sobrecarga total:

$$\frac{\delta_{tot.sc}}{\Delta_t} < 1$$

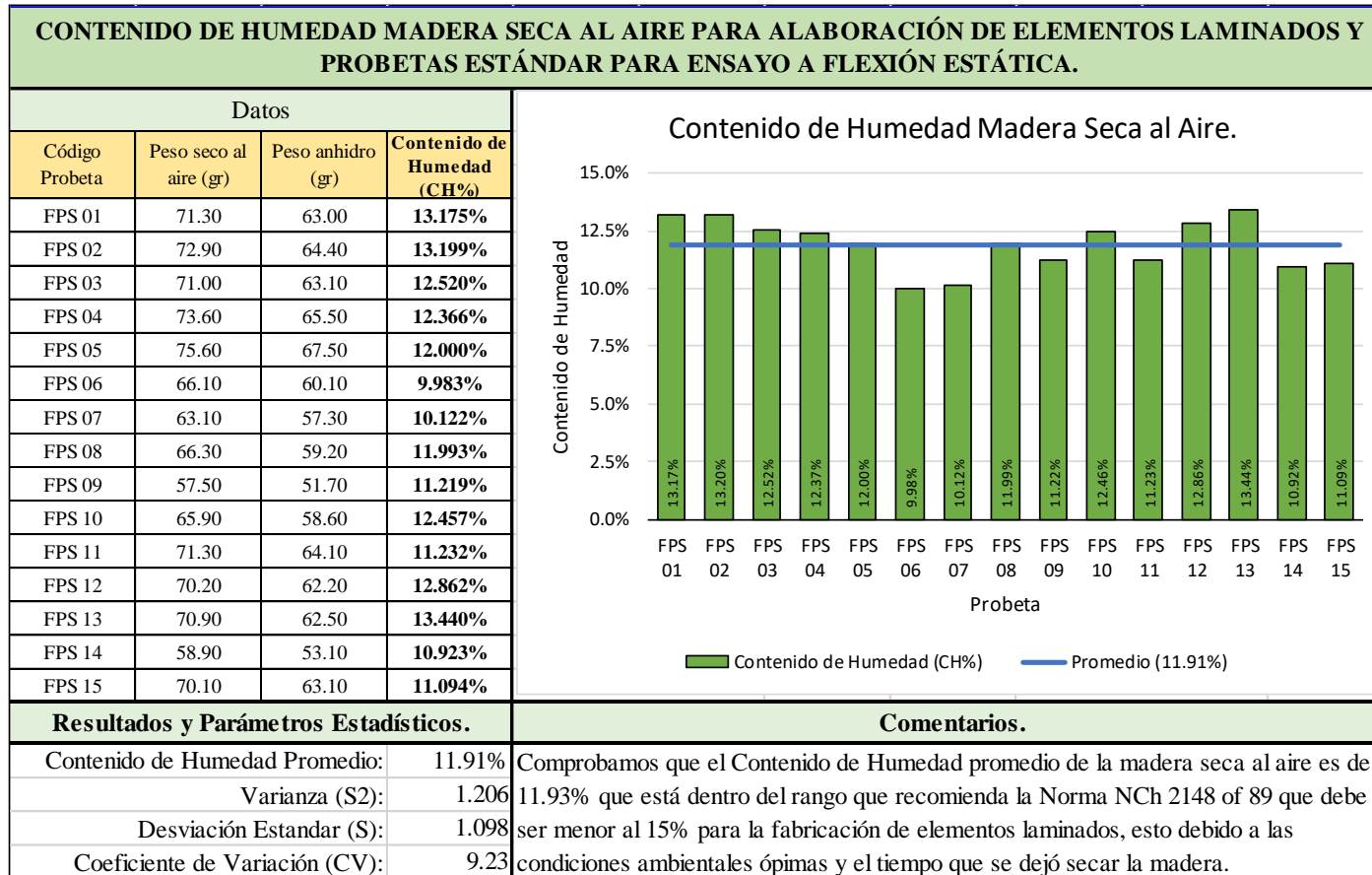
$$\frac{0.382 \text{ cm}}{0.883 \text{ cm}} < 1$$

$$0.43 < 1 \quad \text{ok}$$

VIGA LAMINADA



Anexo 3. Ensayos para determinar el contenido de humedad de la madera – NTP 251.010.



Resultados y Parámetros Estadísticos.		Comentarios.
Contenido de Humedad Promedio:	11.91%	Comprobamos que el Contenido de Humedad promedio de la madera seca al aire es de 11.93% que está dentro del rango que recomienda la Norma NCh 2148 of 89 que debe ser menor al 15% para la fabricación de elementos laminados, esto debido a las condiciones ambientales óptimas y el tiempo que se dejó secar la madera.
Varianza (S2):	1.206	
Desviación Estandar (S):	1.098	
Coficiente de Variación (CV):	9.23	

Nota: El contenido de humedad de la madera seca al aire es el mismo que de las probetas estandar para flexión estática por ser de la misma madera, se hizo esto por recomendación del asesor. Fuente: Elaboración propia.

CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS LAMINADAS			
Datos			
Código Probeta	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	Contenido de Humedad (CH%)
FVL 01	78.20	69.60	12.356%
FVL 02	54.10	48.60	11.317%
FVL 03	61.90	55.40	11.733%
FVL 04	64.10	57.20	12.063%
FVL 05	75.90	68.00	11.618%

Probeta	Contenido de Humedad (CH%)
FVL 01	12.36%
FVL 02	11.32%
FVL 03	11.73%
FVL 04	12.06%
FVL 05	11.62%
Promedio	11.82%

Resultados y Parámetros Estadísticos.

Contenido de Humedad Promedio:	11.82%
Varianza (S ²):	0.162
Desviación Estandar (S):	0.403
Coficiente de Variación (CV):	3.41

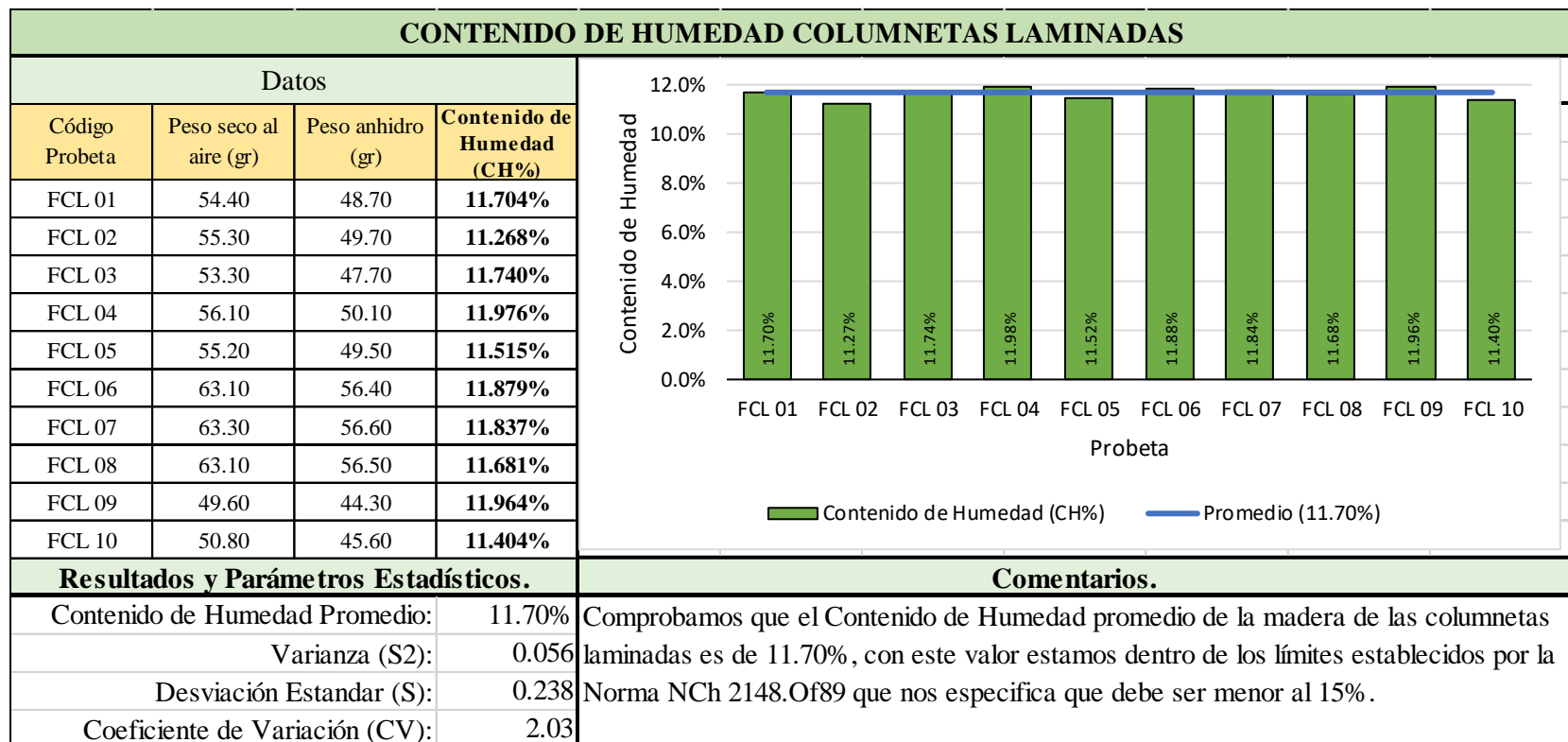
Resultados y Parámetros Estadísticos.		Comentarios.	
Contenido de Humedad Promedio:	11.82%	Comprobamos que el Contenido de Humedad promedio de la madera de las vigas laminadas es de 11.82%, con este valor estamos dentro de los límites establecidos por la Norma NCh 2148.Of89 que nos especifica que debe ser menor al 15%.	
Varianza (S ²):	0.162		
Desviación Estandar (S):	0.403		
Coficiente de Variación (CV):	3.41		

Fuente: Elaboración propia

CONTENIDO DE HUMEDAD EN VIGAS MACIZAS			
Datos			
Código Probeta	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	Contenido de Humedad (CH%)
FVM 01	57.40	51.70	11.025%
FVM 02	69.00	62.10	11.111%
FVM 03	59.20	53.10	11.488%
FVM 04	69.20	62.20	11.254%
FVM 05	70.20	63.30	10.900%

Resultados y Parámetros Estadísticos.		Comentarios.	
Contenido de Humedad Promedio:	11.16%	Comprobamos que el Contenido de Humedad promedio de la madera de las vigas macizas es de 11.16%, la cual es muy cercano al Contenido de Humedad de las vigas laminadas que es de 11.82%, esto debido a que están fabricadas de la misma madera y almacenadas en las mismas condiciones.	
Varianza (S ²):	0.051		
Desviación Estandar (S):	0.226		
Coefficiente de Variación (CV):	2.02		

Fuente. Elaboración propia.



Resultados y Parámetros Estadísticos.

Contenido de Humedad Promedio:	11.70%
Varianza (S2):	0.056
Desviación Estandar (S):	0.238
Coefficiente de Variación (CV):	2.03

Comentarios.

Comprobamos que el Contenido de Humedad promedio de la madera de las columnetas laminadas es de 11.70%, con este valor estamos dentro de los límites establecidos por la Norma NCh 2148.Of89 que nos especifica que debe ser menor al 15%.

CONTENIDO DE HUMEDAD COLUMNETAS MACIZAS

Datos			
Código Probeta	Peso seco al aire (gr)	Peso anhidro (gr)	Contenido de Humedad (CH%)
FCM 01	68.70	61.50	11.707%
FCM 02	69.40	62.20	11.576%
FCM 03	67.90	60.90	11.494%
FCM 04	69.90	62.90	11.129%
FCM 05	69.30	62.20	11.415%
FCM 06	68.50	61.40	11.564%
FCM 07	68.30	61.30	11.419%
FCM 08	67.60	60.60	11.551%
FCM 09	70.70	63.30	11.690%
FCM 10	68.80	61.70	11.507%

Contenido de Humedad

Probeta

■ Contenido de Humedad (CH%)
 — Promedio (11.51%)

Resultados y Parámetros Estadísticos.

Contenido de Humedad Promedio:	11.51%
Varianza (S2):	0.027
Desviación Estandar (S):	0.164
Coeficiente de Variación (CV):	1.43

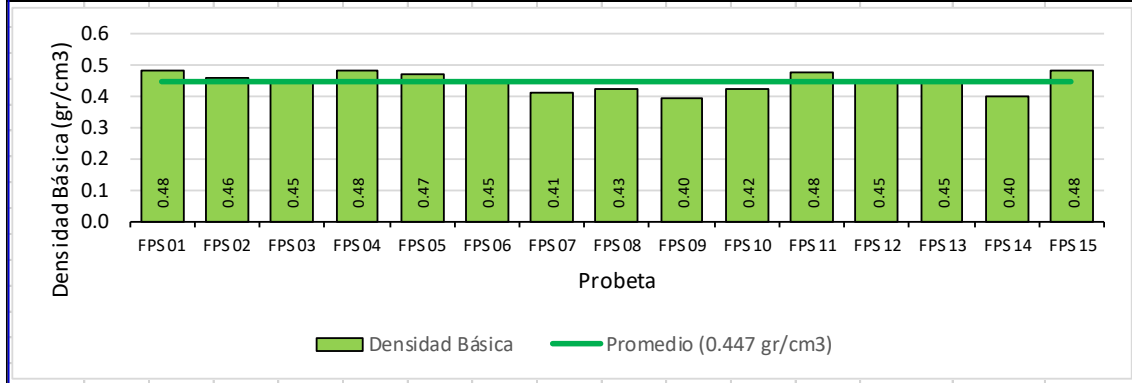
Comentarios.

Comprobamos que el Contenido de Humedad promedio de la madera de las columnetas macizas es de 11.51%, la cual es muy cercano al Contenido de Humedad de las columnetas laminadas que es de 11.70%, esto debido a que están fabricadas de la misma madera y almacenadas en las mismas condiciones.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Ensayos para determinar la densidad básica de madera.

DENSIDAD BÁSICA MADERA PARA ALABORACIÓN DE ELEMENTOS LAMINADOS Y PROBETAS ESTÁNDAR PARA ENSAYO A FLEXIÓN ESTÁTICA.															
PROB.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN ESTADO SATURADO												Vol. Saturado (cm ³)	Peso Anhidro PSH (gr)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	Lado "a" (Radial)				Lado "b" (Tangencial)				Lado "c" (Longitudinal)						
	a1	a2	a3	"a" prom.	b1	b2	b3	"b" Prom.	L1	L2	L3	"L" Prom.			
FPS 01	5.09	5.09	5.09	5.09	5.18	5.16	5.16	5.17	4.96	4.98	4.96	4.97	130.787	63.000	0.482
FPS 02	5.16	5.18	5.18	5.17	5.23	5.21	5.22	5.22	5.22	5.20	5.22	5.21	140.604	64.400	0.458
FPS 03	5.19	5.19	5.18	5.19	5.19	5.17	5.18	5.18	5.21	5.23	5.21	5.22	140.336	63.100	0.450
FPS 04	5.17	5.17	5.18	5.17	5.16	5.14	5.14	5.15	5.08	5.10	5.08	5.09	135.524	65.500	0.483
FPS 05	5.27	5.29	5.29	5.28	5.23	5.23	5.23	5.23	5.17	5.15	5.17	5.16	142.490	67.500	0.474
FPS 06	5.14	5.16	5.15	5.15	5.08	5.10	5.10	5.09	5.14	5.14	5.14	5.14	134.737	60.100	0.446
FPS 07	5.19	5.21	5.19	5.20	5.11	5.13	5.13	5.12	5.23	5.21	5.23	5.22	138.977	57.300	0.412
FPS 08	5.15	5.17	5.15	5.16	5.22	5.20	5.22	5.21	5.16	5.18	5.16	5.17	138.988	59.200	0.426
FPS 09	5.15	5.15	5.16	5.15	5.14	5.14	5.15	5.14	4.93	4.91	4.93	4.92	130.237	51.700	0.397
FPS 10	5.19	5.19	5.18	5.19	5.11	5.13	5.11	5.12	5.22	5.22	5.22	5.22	138.710	58.600	0.422
FPS 11	5.22	5.22	5.22	5.22	5.12	5.12	5.12	5.12	5.00	5.02	5.00	5.01	133.899	64.100	0.479
FPS 12	5.19	5.21	5.20	5.20	5.17	5.15	5.16	5.16	5.17	5.17	5.17	5.17	138.721	62.200	0.448
FPS 13	5.18	5.16	5.18	5.17	5.21	5.19	5.20	5.20	5.20	5.22	5.20	5.21	140.066	62.500	0.446
FPS 14	5.15	5.15	5.15	5.15	5.16	5.16	5.17	5.16	4.99	5.01	4.99	5.00	132.870	53.100	0.400
FPS 15	5.17	5.19	5.17	5.18	5.21	5.19	5.20	5.20	4.84	4.86	4.84	4.85	130.640	63.100	0.483
Densidad Básica Promedio (gr/cm ³):															0.447
Varianza (S ²):															0.001
Desviación Estandar (S):															0.030
Coeficiente de Variación (CV):															6.73%



PANEL FOTOGRÁFICO



COMENTARIOS.

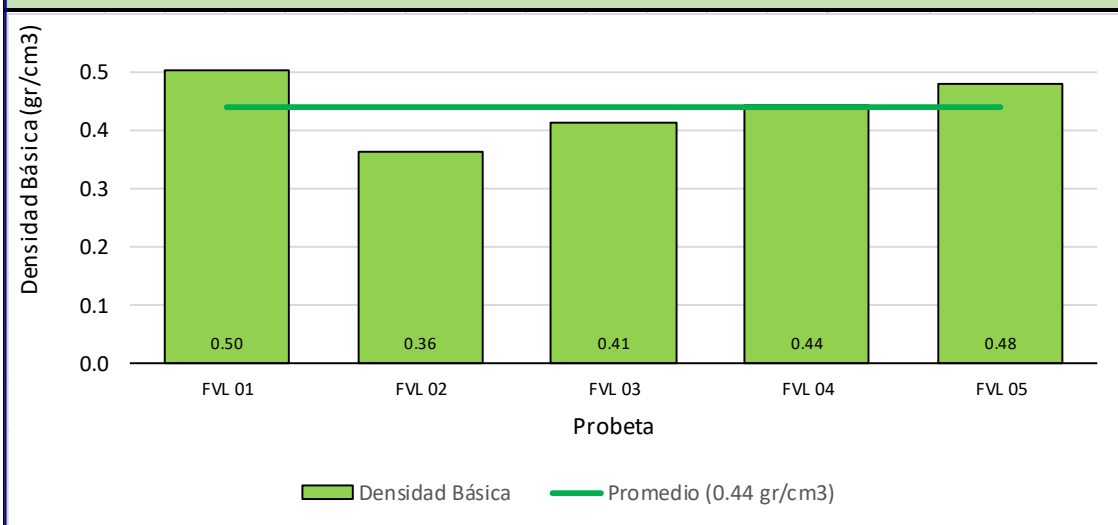
Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de los elementos estructurales y de las probetas estándar para el ensayo a flexión estática es de 0.447 gr/cm³, con lo que según la Norma E.010 del RNE nos dice que nuestra madera pertenece al Grupo "C" por estar entre 0.40 - 0.55 gr/cm³ de densidad, ya que como esta misma Norma lo especifica el pino pertenece a este grupo considerada una madera liviana.

DENSIDAD BÁSICA VIGAS DE MADERA LAMINADA

PROB.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN ESTADO SATURADO												Vol. Saturado (cm ³)	Peso Anhidro PSH (gr)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	Lado "a" (Radial)				Lado "b" (Tangencial)				Lado "c" (Longitudinal)						
	a1	a2	a3	"a" prom	b1	b2	b3	"b" Prom	L1	L2	L3	"L" Prom			
FVL 01	4.92	4.92	4.91	4.92	5.30	5.31	5.29	5.30	5.30	5.29	5.30	5.30	138.203	69.600	0.504
FVL 02	5.21	5.20	5.20	5.20	5.18	5.19	5.19	5.19	4.95	4.93	4.94	4.94	133.321	48.600	0.365
FVL 03	5.14	5.16	5.16	5.15	5.12	5.12	5.11	5.12	5.08	5.08	5.07	5.08	133.949	55.400	0.414
FVL 04	5.08	5.07	5.06	5.07	5.06	5.06	5.04	5.05	5.05	5.07	5.06	5.06	129.554	57.200	0.442
FVL 05	5.20	5.20	5.18	5.19	5.21	5.19	5.20	5.20	5.26	5.27	5.27	5.27	142.227	68.000	0.478

Densidad Básica Promedio (gr/cm ³):	0.440
Varianza (S ²):	0.003
Desviación Estandar (S):	0.055
Coefficiente de Variación (CV):	12.38%

Gráfico de los valores de la Densidad Básica en Vigas Macizas



Comentarios:

Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de las vigas de madera laminada para el ensayo a flexión estática es de 0.440 gr/cm³, con lo que según la Norma E.010 del RNE nos dice que nuestra madera pertenece al Grupo "C" por estar entre 0.40 - 0.55 gr/cm³ de densidad, ya que como esta misma Norma lo especifica el pino pertenece a este grupo considerada una madera liviana, además se acerca mucho al valor de 0.447 gr/cm³ que fue la densidad básica que se calculó con la madera antes de la fabricación de las vigas.

DENSIDAD BÁSICA VIGAS DE MADERA MACIZA

PROB.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN ESTADO SATURADO												Vol. Saturado (cm3)	Peso Anhidro PSH (gr)	Densidad Básica (gr/cm3)
	Lado "a" (Radial)				Lado "b" (Tangencial)				Lado "c" (Longitudinal)						
	a1	a2	a3	"a" pro m.	b1	b2	b3	"b" Pro m.	L1	L2	L3	"L" Pro m.			
FVM 01	5.17	5.18	5.16	5.17	5.13	5.14	5.15	5.14	4.90	4.91	4.92	4.91	130.477	51.700	0.396
FVM 02	5.14	5.14	5.12	5.13	5.20	5.19	5.20	5.20	4.92	4.92	4.94	4.93	131.513	62.100	0.472
FVM 03	5.15	5.15	5.13	5.14	5.11	5.12	5.12	5.12	4.99	5.01	4.99	5.00	131.584	53.100	0.404
FVM 04	5.15	5.15	5.15	5.15	5.16	5.15	5.14	5.15	4.91	4.91	4.89	4.90	129.960	62.200	0.479
FVM 05	5.16	5.15	5.16	5.16	5.21	5.19	5.21	5.20	4.91	4.93	4.93	4.92	132.013	63.300	0.479

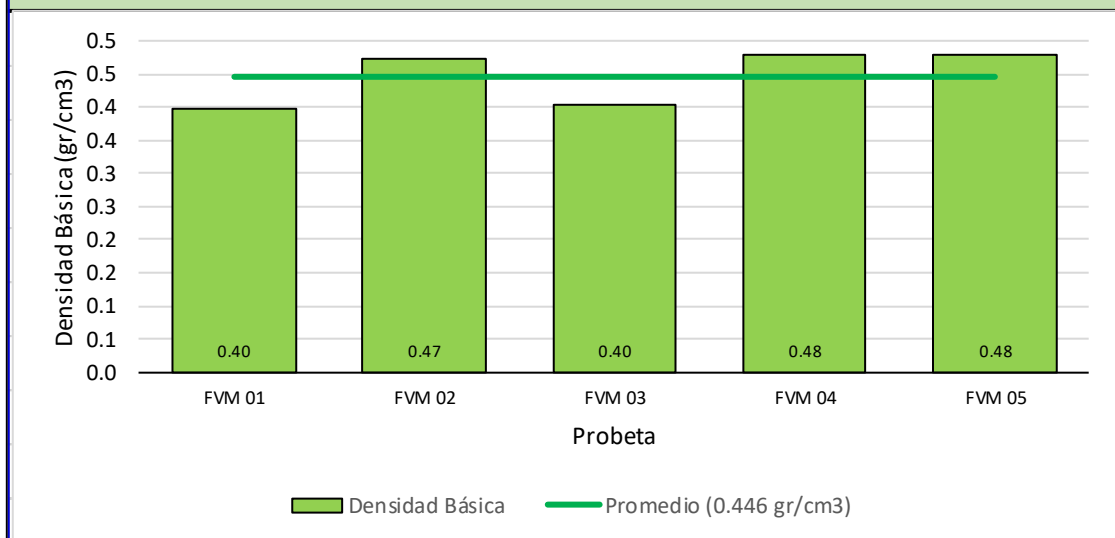
Densidad Básica Promedio (gr/cm3): **0.446**

Varianza (S2): **0.002**

Desviación Estandar (S): **0.042**

Coefficiente de Variación (CV): **9.48%**

Gráfico de los valores de la Densidad Básica en Vigas Macizas



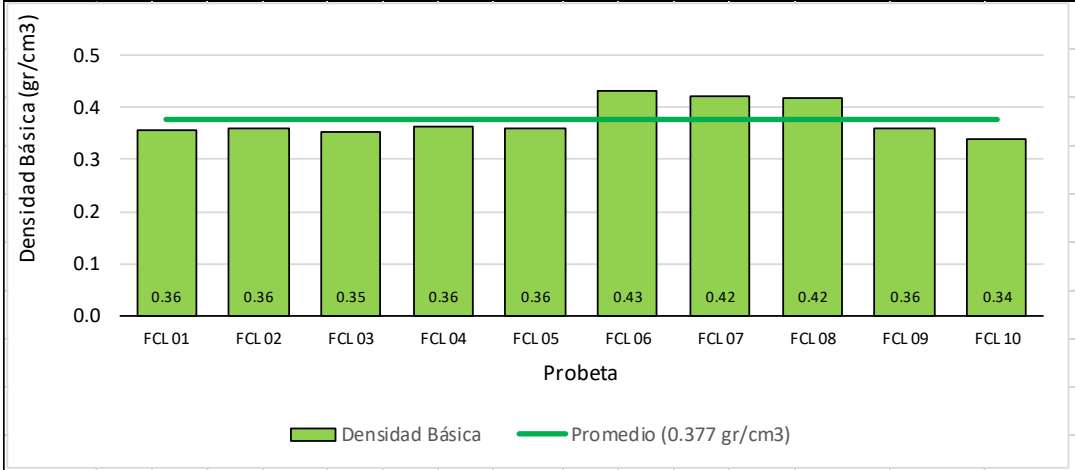
Comentarios:

Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de las vigas de madera maciza para el ensayo a flexión estática es de 0.446 gr/cm3, con lo que según la Norma E.010 del RNE nos dice que nuestra madera pertenece al Grupo "C" por estar entre 0.40 - 0.55 gr/cm3 de densidad, ya que como esta misma Norma lo especifica el pino pertenece a este grupo considerada una madera liviana, además se acerca mucho al valor de 0.447 gr/cm3 que fue la densidad básica que se calculó con la madera antes de la fabricación de las vigas ya que las vigas de madera maciza y madera laminada fueron elaboradas con la misma madera.

DENSIDAD BÁSICA COLUMNETAS DE MADERA LAMINADA

PROB.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN ESTADO SATURADO												Vol. Saturado (cm ³)	Peso Anhidro PSH (gr)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	Lado "a" (Radial)				Lado "b" (Tangencial)				Lado "c" (Longitudinal)						
	a1	a2	a3	"a" Prom.	b1	b2	b3	"b" Prom.	L1	L2	L3	"L" Prom.			
FCL 01	5.22	5.20	5.20	5.21	5.16	5.16	5.16	5.16	5.09	5.08	5.08	5.08	136.569	48.700	0.357
FCL 02	5.20	5.20	5.19	5.20	5.20	5.21	5.22	5.21	5.08	5.09	5.09	5.09	137.898	49.700	0.360
FCL 03	5.16	5.15	5.14	5.15	5.20	5.19	5.18	5.19	5.06	5.05	5.05	5.05	134.979	47.700	0.353
FCL 04	5.22	5.24	5.24	5.23	5.19	5.20	5.20	5.20	5.09	5.09	5.07	5.08	138.156	50.100	0.363
FCL 05	5.16	5.18	5.17	5.17	5.19	5.20	5.20	5.20	5.10	5.09	5.09	5.09	136.840	49.500	0.362
FCL 06	5.05	5.05	5.05	5.05	5.12	5.13	5.11	5.12	5.07	5.06	5.05	5.06	130.831	56.400	0.431
FCL 07	5.14	5.14	5.13	5.14	5.10	5.10	5.12	5.11	5.09	5.10	5.10	5.10	133.954	56.600	0.423
FCL 08	5.20	5.18	5.19	5.19	5.11	5.11	5.12	5.11	5.11	5.11	5.10	5.11	135.522	56.500	0.417
FCL 09	4.82	4.84	4.84	4.83	5.09	5.11	5.09	5.10	5.01	4.99	5.01	5.00	123.165	44.300	0.360
FCL 10	5.18	5.18	5.17	5.18	5.12	5.12	5.10	5.11	5.06	5.07	5.06	5.06	133.937	45.600	0.340

Densidad Básica Promedio (gr/cm ³):	0.377
Varianza (S ²):	0.001
Desviación Estandar (S):	0.033
Coefficiente de Variación (CV):	8.81%



Comentarios:

Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de las columnetas de madera laminada para el ensayo a compresión pura es de 0.377 gr/cm³, este valor está fuera de lo establecido según la Norma E.010 del RNE que nos dice que nuestra madera está por debajo al Grupo "C" (0.40 - 0.55 gr/cm³) de densidad, esto se puede deber a que el pegamento terminó disolviéndose en el agua al momento que se sumergió la probeta para lograr su estado saturado ya que se hizo por más de las 24 hrs. recomendadas.

DENSIDAD BÁSICA COLUMNETAS DE MADERA MACIZA															
PROB.	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS EN ESTADO SATURADO												Vol. Saturado (cm ³)	Peso Anhidro PSH (gr)	Densidad Básica (gr/cm ³)
	Lado "a" (Radial)				Lado "b" (Tangencial)				Lado "c" (Longitudinal)						
	a1	a2	a3	"a" Prom.	b1	b2	b3	"b" Prom.	L1	L2	L3	"L" Prom.			
FCM 01	5.18	5.19	5.19	5.19	5.20	5.20	5.19	5.20	5.08	5.07	5.08	5.08	137.099	61.500	0.449
FCM 02	5.25	5.24	5.25	5.25	5.13	5.11	5.11	5.12	5.04	5.04	5.06	5.05	135.744	62.200	0.458
FCM 03	5.20	5.21	5.21	5.21	5.21	5.19	5.19	5.20	5.05	5.05	5.05	5.05	136.815	60.900	0.445
FCM 04	5.12	5.13	5.12	5.12	5.21	5.20	5.21	5.21	5.04	5.05	5.06	5.05	134.710	62.900	0.467
FCM 05	5.18	5.18	5.16	5.17	5.14	5.14	5.14	5.14	5.05	5.07	5.05	5.06	134.463	62.200	0.463
FCM 06	5.13	5.12	5.14	5.13	5.15	5.15	5.14	5.15	5.05	5.04	5.04	5.04	133.154	61.400	0.461
FCM 07	5.16	5.17	5.15	5.16	5.13	5.13	5.15	5.14	5.06	5.04	5.04	5.05	133.938	61.300	0.458
FCM 08	5.20	5.20	5.20	5.20	5.17	5.18	5.19	5.18	5.04	5.02	5.04	5.03	135.488	60.600	0.447
FCM 09	5.17	5.16	5.18	5.17	5.11	5.12	5.11	5.11	5.07	5.08	5.07	5.07	133.943	63.300	0.473
FCM 10	5.18	5.19	5.19	5.19	5.13	5.12	5.12	5.12	5.05	5.06	5.05	5.05	134.193	61.700	0.460
Densidad Básica Promedio (gr/cm ³):															0.458
Varianza (S ²):															0.001
Desviación Estandar (S):															0.009
Coeficiente de Variación (CV):															1.92%

Densidad Básica (gr/cm³)

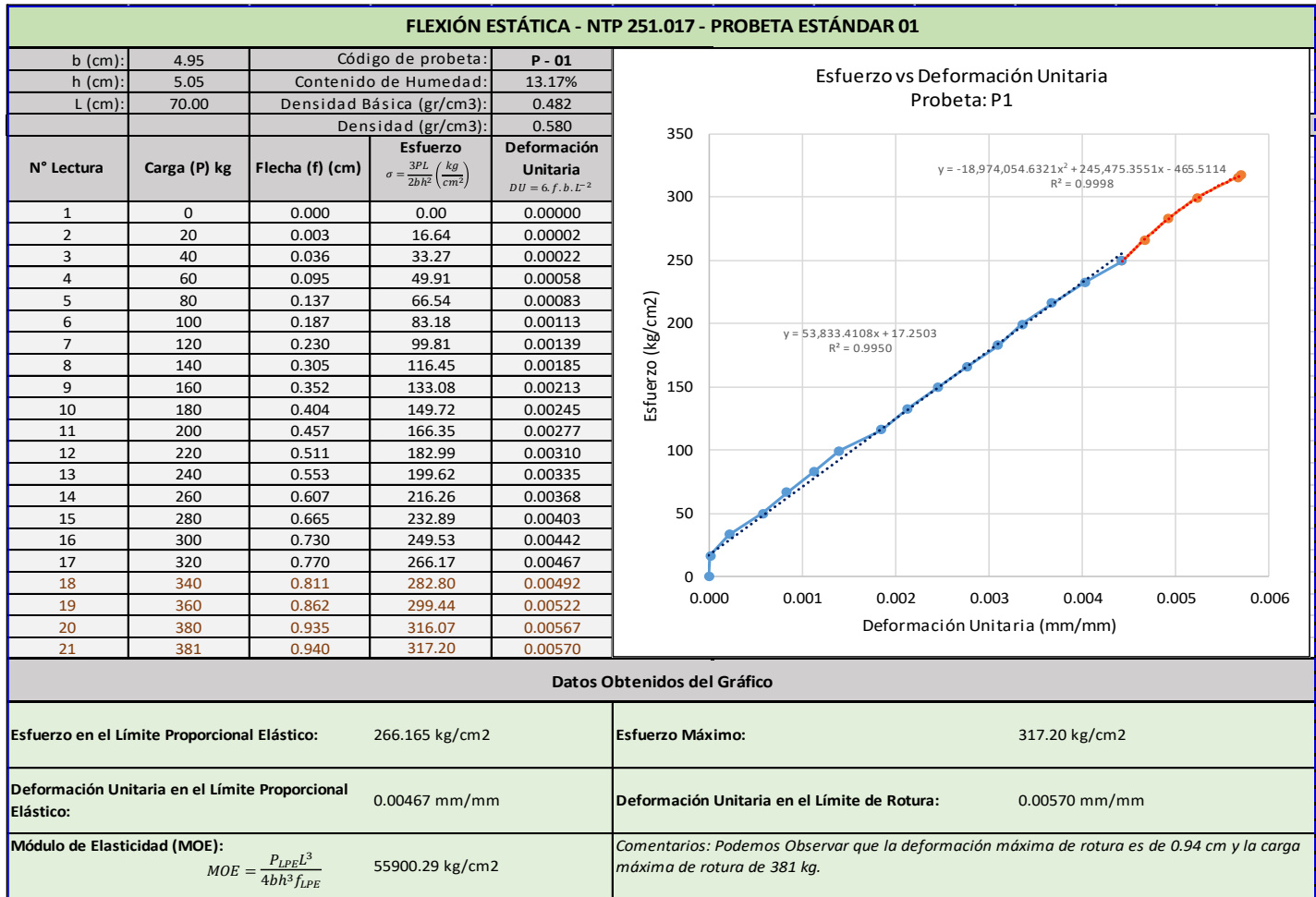
FCM 01 FCM 02 FCM 03 FCM 04 FCM 05 FCM 06 FCM 07 FCM 08 FCM 09 FCM 10

Probeta

Densidad Básica Promedio (0.458 gr/cm³)

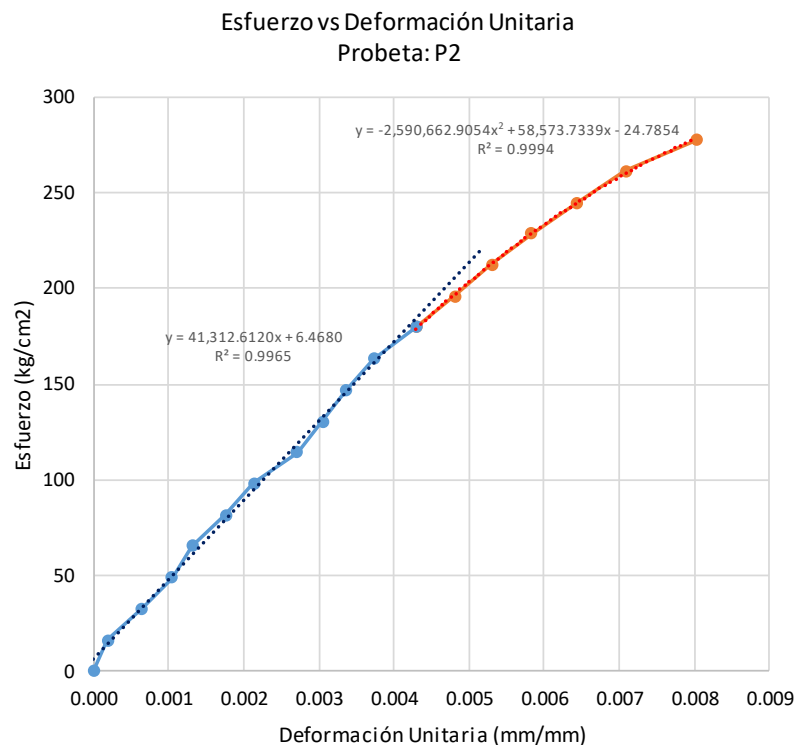
Comentarios:
Observamos que a Densidad Básica promedio de la madera que se usó para la fabricación de las columnetas de madera maciza para el ensayo a compresión pura es de 0.458 gr/cm ³ , con lo que según la Norma E.010 del RNE nos dice que nuestra madera pertenece al Grupo "C" por estar entre 0.40 - 0.55 gr/cm ³ de densidad, ya que como esta misma Norma lo especifica el pino pertenece a este grupo considerada una madera liviana, además se acerca mucho al valor de 0.447 gr/cm ³ que fue la densidad básica que se calculó con la madera antes de la fabricación de las columnetas.

Anexo 5. Ensayos a flexión estática de las probetas estándar – NTP 251.011.



FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 02

b (cm):	5.04	Código de probeta:	P - 02	
h (cm):	5.05	Contenido de Humedad:	13.20%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.458	
		Densidad (gr/cm3):	0.558	
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.030	16.34	0.00019
3	40	0.104	32.68	0.00064
4	60	0.169	49.01	0.00104
5	80	0.213	65.35	0.00131
6	100	0.286	81.69	0.00177
7	120	0.345	98.03	0.00213
8	140	0.440	114.37	0.00272
9	160	0.494	130.71	0.00305
10	180	0.545	147.04	0.00336
11	200	0.604	163.38	0.00373
12	220	0.695	179.72	0.00429
13	240	0.779	196.06	0.00481
14	260	0.860	212.40	0.00531
15	280	0.945	228.74	0.00583
16	300	1.044	245.07	0.00644
17	320	1.148	261.41	0.00708
18	340	1.300	277.75	0.00802

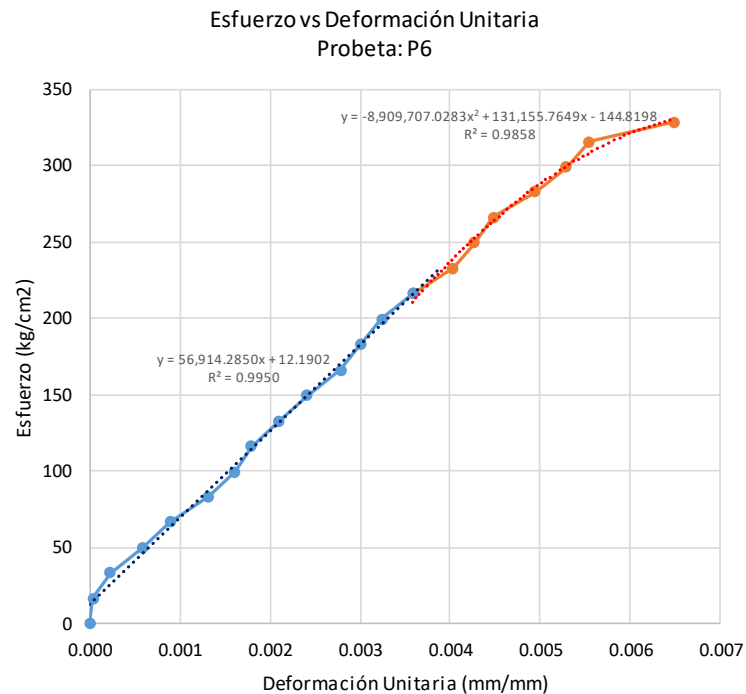


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	179.721 kg/cm ²	Esfuerzo Máximo:	277.75 kg/cm ²
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00429 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00802 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3 f_{LPE}}$	41818.39 kg/cm ²	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 1.03 cm y la carga máxima de rotura de 340 kg.</i>	

FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 06

b (cm):	5.05	Código de probeta:	P - 06	
h (cm):	5.00	Contenido de Humedad:	9.98%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.446	
		Densidad (gr/cm3):	0.512	
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.006	16.63	0.00004
3	40	0.037	33.27	0.00023
4	60	0.096	49.90	0.00059
5	80	0.144	66.53	0.00089
6	100	0.213	83.17	0.00132
7	120	0.260	99.80	0.00161
8	140	0.290	116.44	0.00179
9	160	0.340	133.07	0.00210
10	180	0.390	149.70	0.00241
11	200	0.450	166.34	0.00278
12	220	0.486	182.97	0.00301
13	240	0.524	199.60	0.00324
14	260	0.580	216.24	0.00359
15	280	0.652	232.87	0.00403
16	300	0.690	249.50	0.00427
17	320	0.724	266.14	0.00448
18	340	0.800	282.77	0.00495
19	360	0.855	299.41	0.00529
20	380	0.896	316.04	0.00554
21	395	1.050	328.51	0.00649

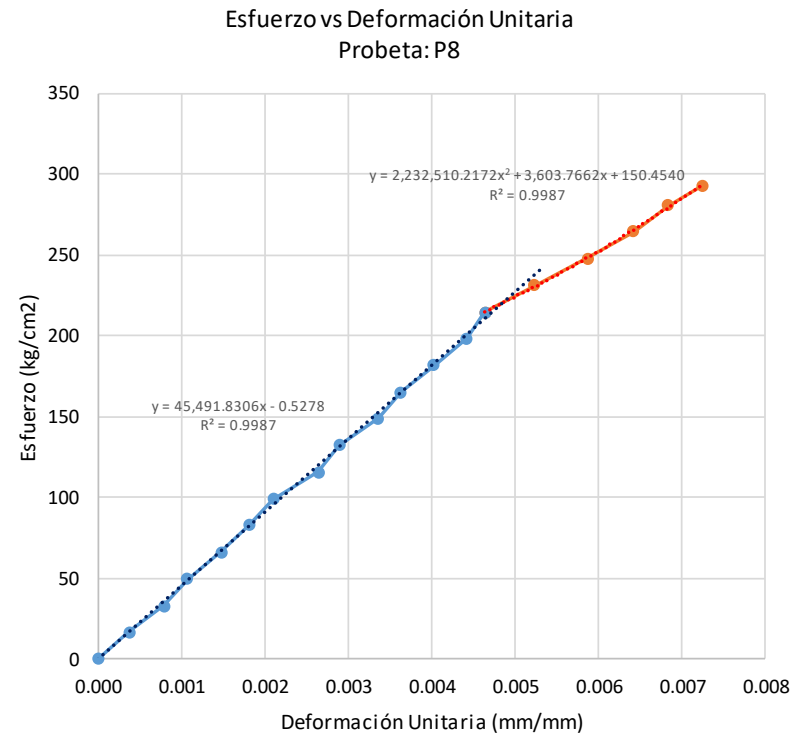


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	216.238 kg/cm2	Esfuerzo Máximo:	328.51 kg/cm2
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00359 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00649 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	60894.50 kg/cm2	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 1.05 cm y la carga máxima de rotura de 395 kg.</i>	

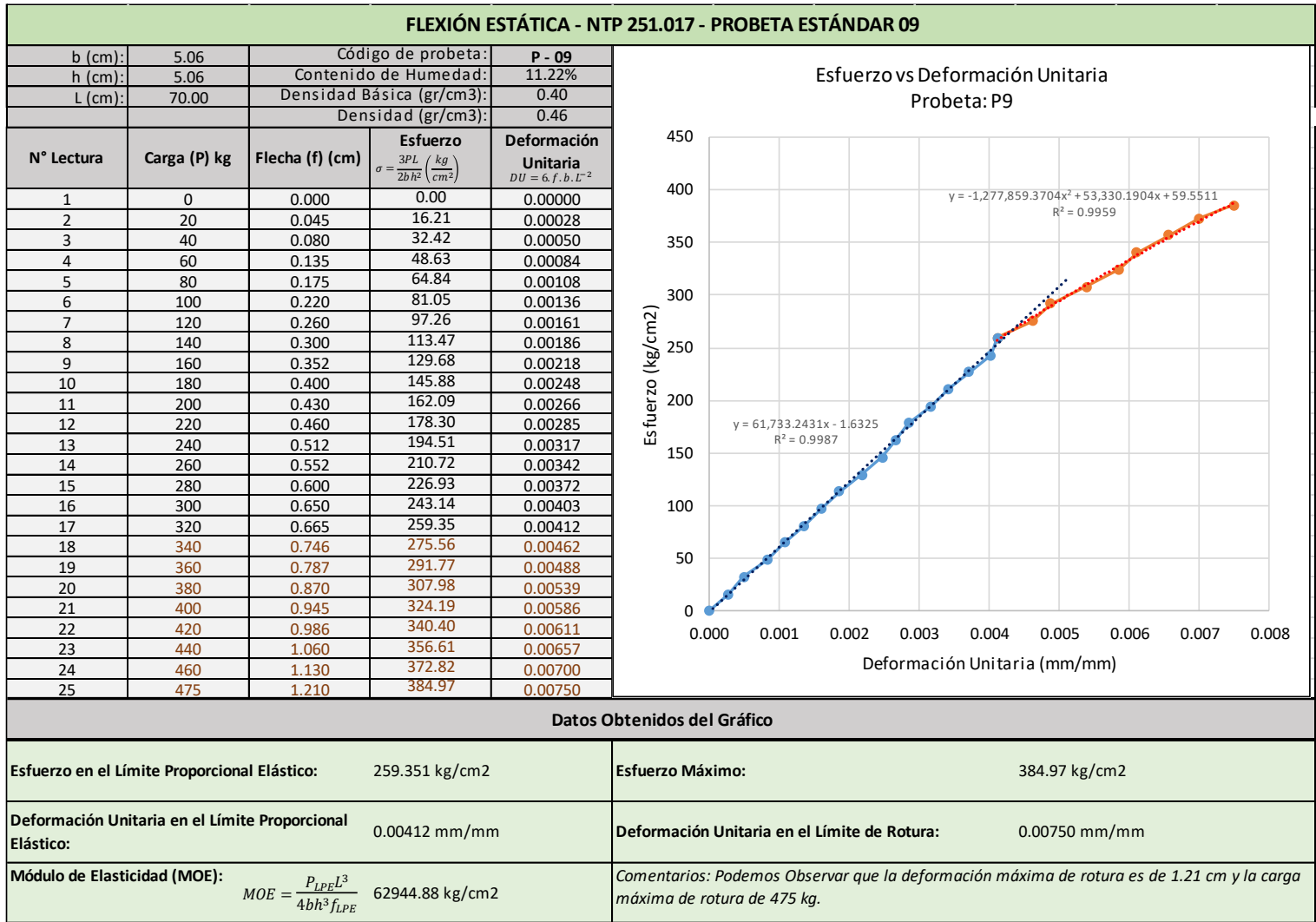
FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 08

b (cm):	5.02	Código de probeta:	P - 08	
h (cm):	5.03	Contenido de Humedad:	11.99%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.426	
		Densidad (gr/cm3):	0.512	
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6.f.b.L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.060	16.53	0.00037
3	40	0.128	33.07	0.00079
4	60	0.175	49.60	0.00108
5	80	0.240	66.14	0.00148
6	100	0.295	82.67	0.00181
7	120	0.342	99.20	0.00210
8	140	0.430	115.74	0.00264
9	160	0.471	132.27	0.00290
10	180	0.546	148.81	0.00336
11	200	0.590	165.34	0.00363
12	220	0.655	181.87	0.00403
13	240	0.720	198.41	0.00443
14	260	0.755	214.94	0.00464
15	280	0.852	231.48	0.00524
16	300	0.955	248.01	0.00587
17	320	1.045	264.55	0.00642
18	340	1.112	281.08	0.00684
19	355	1.180	293.48	0.00725



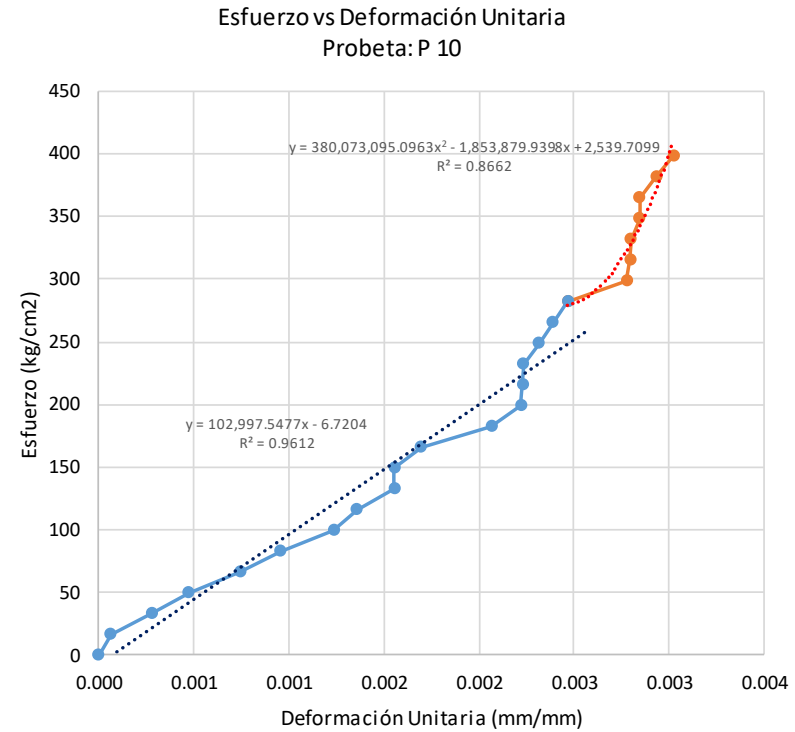
Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	214.943 kg/cm ²	Esfuerzo Máximo:	293.48 kg/cm ²
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00464 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00725 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	46222.44 kg/cm ²	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 1.18 cm y la carga máxima de rotura de 355 kg.</i>	



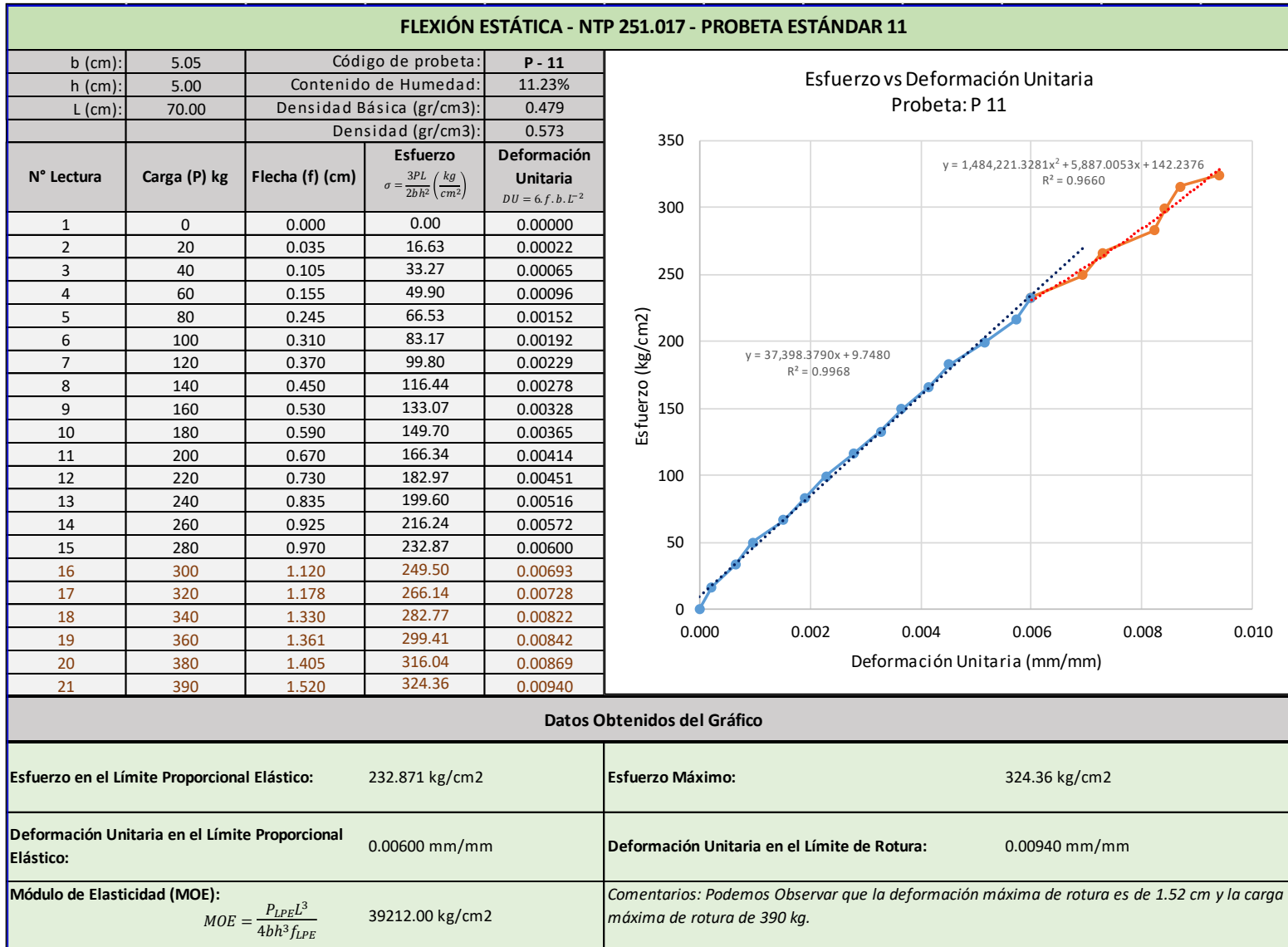
FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 10

b (cm):	5.04	Código de probeta:	P - 10	
h (cm):	5.01	Contenido de Humedad:	12.46%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.422	
		Densidad (gr/cm3):	0.509	
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.010	16.60	0.00006
3	40	0.045	33.20	0.00028
4	60	0.077	49.80	0.00048
5	80	0.120	66.40	0.00074
6	100	0.155	83.00	0.00096
7	120	0.200	99.60	0.00123
8	140	0.220	116.20	0.00136
9	160	0.252	132.80	0.00156
10	180	0.252	149.40	0.00156
11	200	0.275	166.00	0.00170
12	220	0.335	182.60	0.00207
13	240	0.360	199.20	0.00222
14	260	0.361	215.80	0.00223
15	280	0.362	232.40	0.00223
16	300	0.375	249.00	0.00231
17	320	0.387	265.60	0.00239
18	340	0.400	282.20	0.00247
19	360	0.450	298.80	0.00278
20	380	0.453	315.40	0.00280
21	400	0.454	332.00	0.00280
22	420	0.461	348.60	0.00285
23	440	0.461	365.20	0.00285
24	460	0.475	381.80	0.00293
25	480	0.490	398.40	0.00302



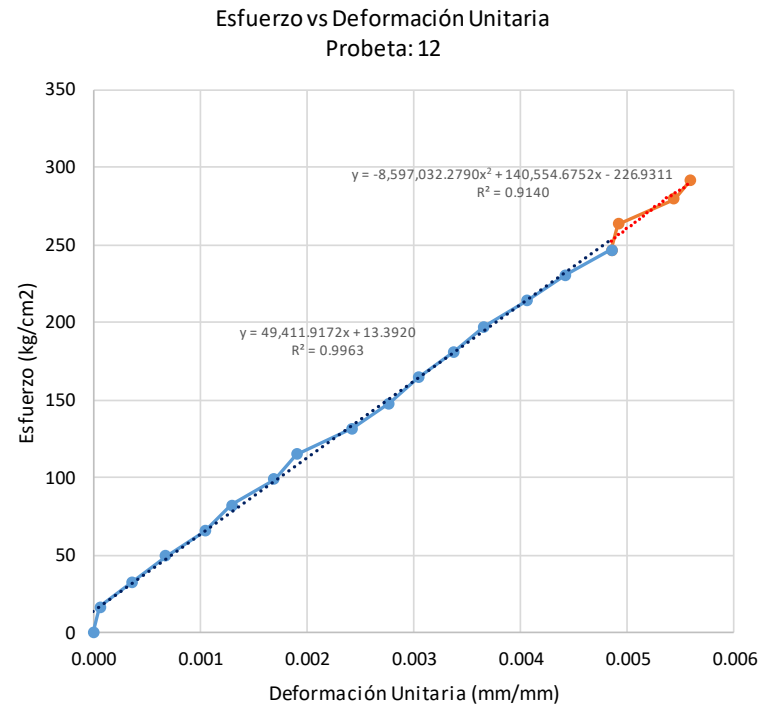
Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	282.203 kg/cm2	Esfuerzo Máximo:	232.40 kg/cm2
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00247 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00223 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	115003.05 kg/cm2	<i>Comentarios: Esta probeta fue mal escogida, presentaba mucha nudosidad lo que hizo que su comportamiento sea extraño durante el ensayo como se puede observar en la grafica esfuerzo vs deformación unitaria. Observar que la deformación máxima de rotura es de 1.11cm y la carga máxima de rotura de 280 kg.</i>	



FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 12

b (cm):	5.02	Código de probeta:	P - 12	
h (cm):	5.04	Contenido de Humedad:	12.86%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.448	
		Densidad (gr/cm3):	0.544	
Nº Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.010	16.47	0.00006
3	40	0.060	32.94	0.00037
4	60	0.110	49.41	0.00068
5	80	0.170	65.87	0.00104
6	100	0.211	82.34	0.00130
7	120	0.275	98.81	0.00169
8	140	0.310	115.28	0.00191
9	160	0.395	131.75	0.00243
10	180	0.450	148.22	0.00277
11	200	0.495	164.69	0.00304
12	220	0.550	181.15	0.00338
13	240	0.595	197.62	0.00366
14	260	0.660	214.09	0.00406
15	280	0.720	230.56	0.00443
16	300	0.790	247.03	0.00486
17	320	0.800	263.50	0.00492
18	340	0.885	279.96	0.00544
19	355	0.910	292.32	0.00559

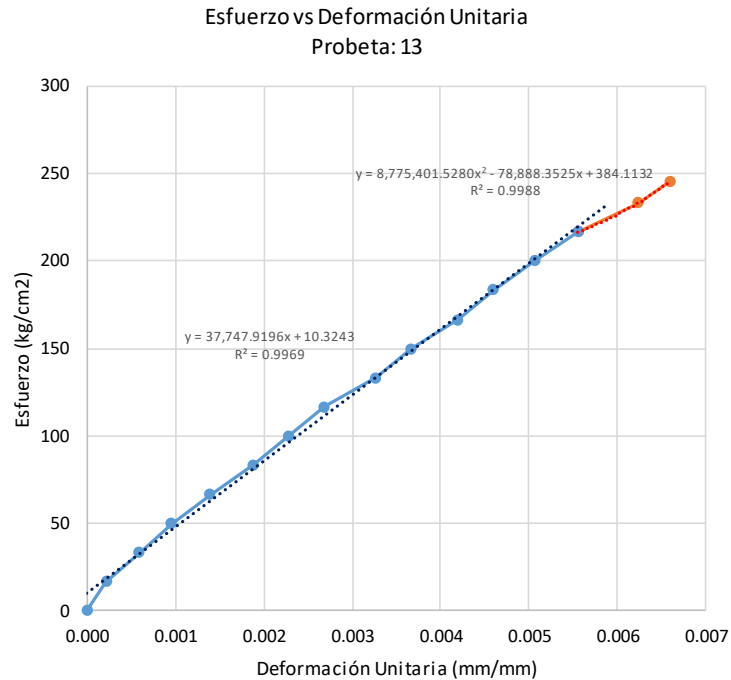


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	247.028 kg/cm2	Esfuerzo Máximo:	292.32 kg/cm2
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00486 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00559 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	50667.91 kg/cm2	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 0.91 cm y la carga máxima de rotura de 355 kg.</i>	

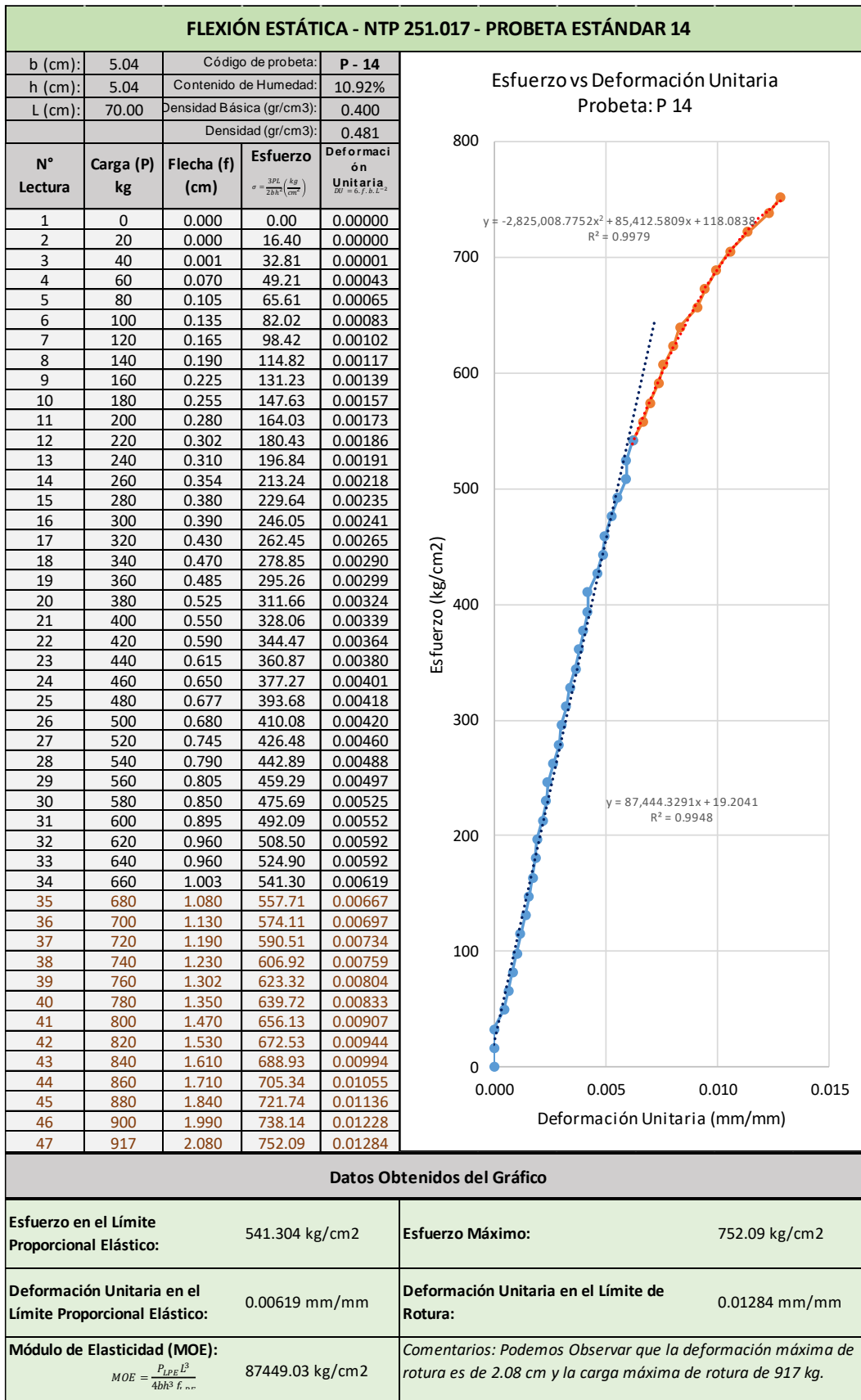
FLEXIÓN ESTÁTICA - NTP 251.017 - PROBETA ESTÁNDAR 13

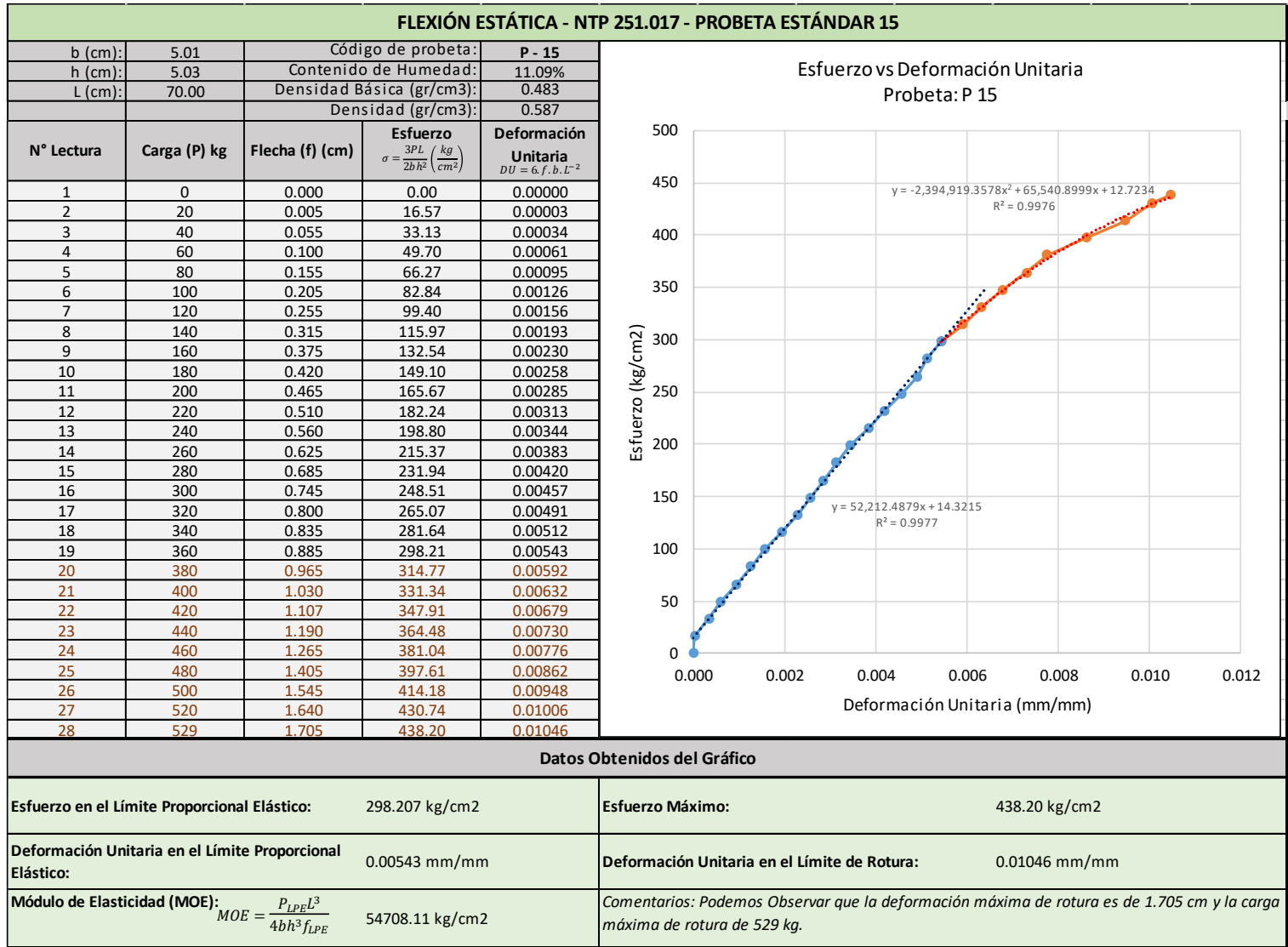
b (cm):	5.04	Código de probeta:	P - 13	
h (cm):	5.00	Contenido de Humedad:	13.44%	
L (cm):	70.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.446	
		Densidad (gr/cm3):	0.551	
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Deformación Unitaria $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00	0.00000
2	20	0.035	16.67	0.00022
3	40	0.095	33.33	0.00059
4	60	0.155	50.00	0.00096
5	80	0.225	66.67	0.00139
6	100	0.305	83.33	0.00188
7	120	0.370	100.00	0.00228
8	140	0.435	116.67	0.00268
9	160	0.530	133.33	0.00327
10	180	0.595	150.00	0.00367
11	200	0.680	166.67	0.00420
12	220	0.745	183.33	0.00460
13	240	0.820	200.00	0.00506
14	260	0.900	216.67	0.00555
15	280	1.010	233.33	0.00623
16	295	1.070	245.83	0.00660

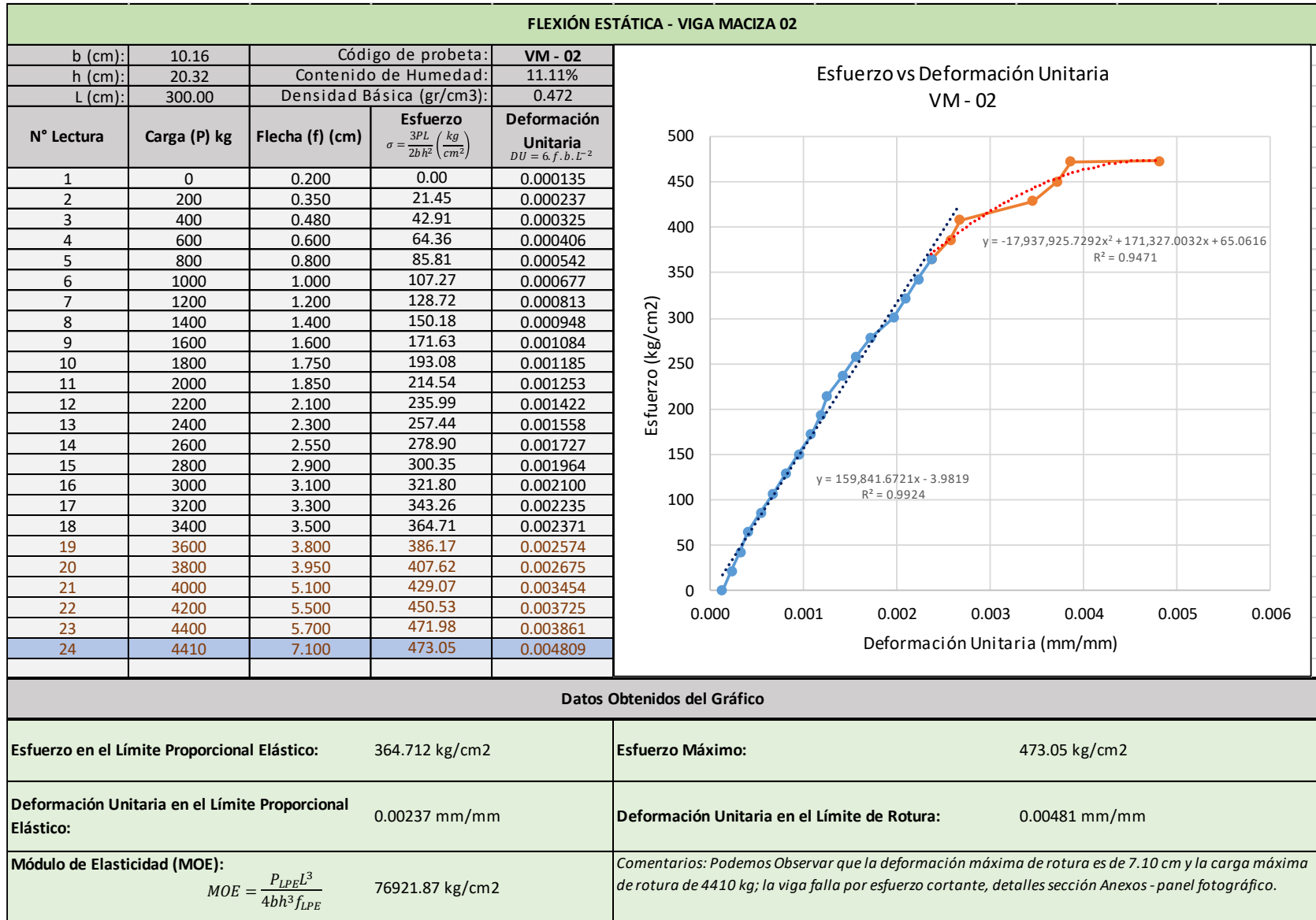


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	216.667 kg/cm ²	Esfuerzo Máximo:	245.83 kg/cm ²
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00555 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00660 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	39320.99 kg/cm ²	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 1.07 cm y la carga máxima de rotura de 295 kg.</i>	

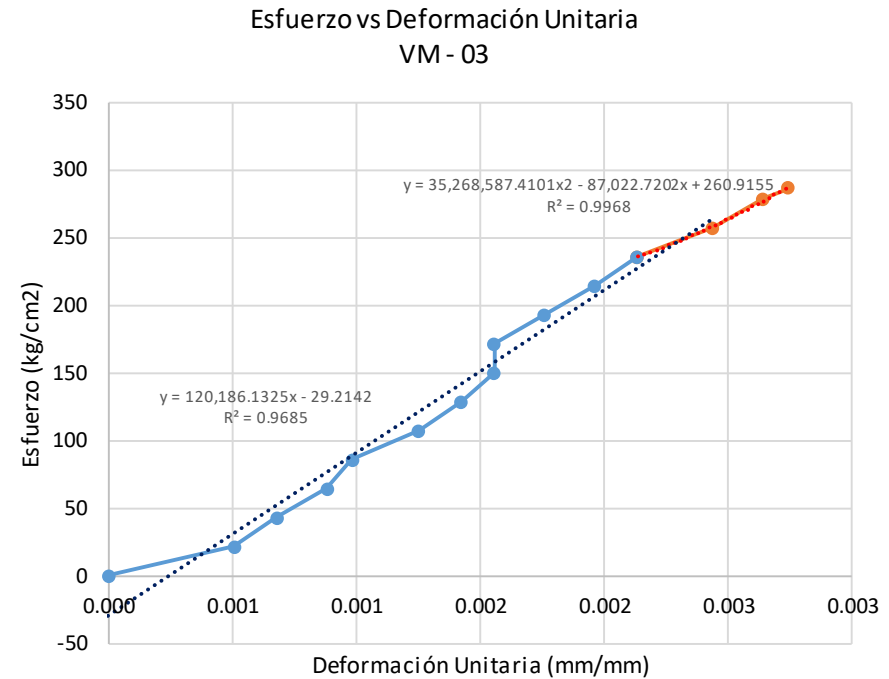






FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGA MACIZA 03

b (cm):	10.16	Código de probeta:	VM - 03
h (cm):	20.32	Contenido de Humedad:	11.49%
L (cm):	300.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.404
Nº Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo Unitario $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ $DU = 6.f.b.L^{-2}$
1	0	0.000	0.00
2	200	0.750	21.45
3	400	1.000	42.91
4	600	1.300	64.36
5	800	1.450	85.81
6	1000	1.850	107.27
7	1200	2.100	128.72
8	1400	2.300	150.18
9	1600	2.300	171.63
10	1800	2.600	193.08
11	2000	2.900	214.54
12	2200	3.150	235.99
13	2400	3.600	257.44
14	2600	3.900	278.90
15	2672	4.050	286.62

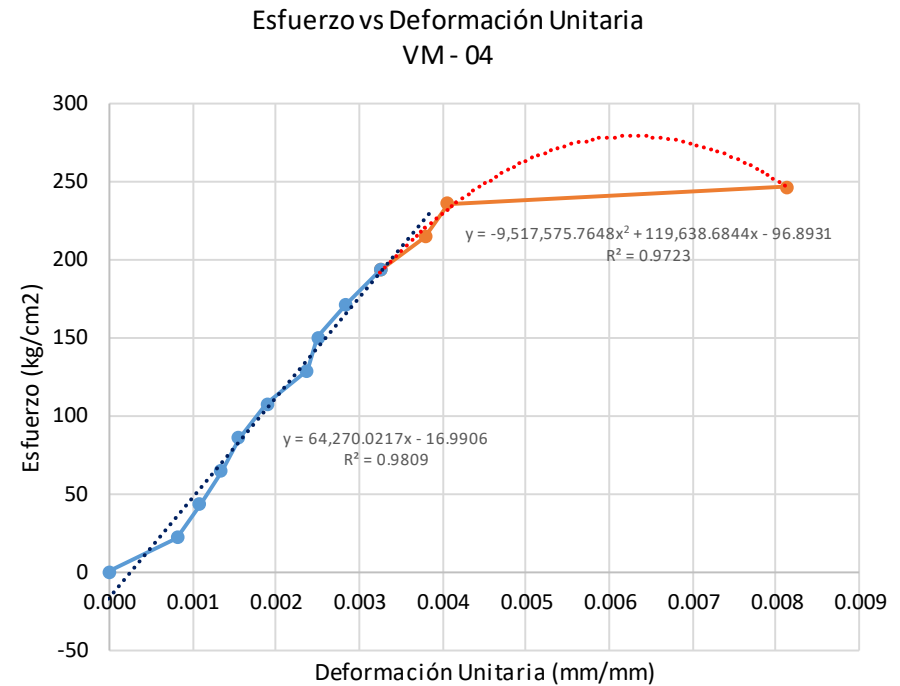


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	235.990 kg/cm2	Esfuerzo Máximo:	286.62 kg/cm2
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00213 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00274 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3f_{LPE}}$	55303.30 kg/cm2	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 4.050 cm y la carga máxima de rotura de 2672 kg; la viga falla por esfuerzo cortante, detalles en la sección anexos - panel fotográfico.</i>	

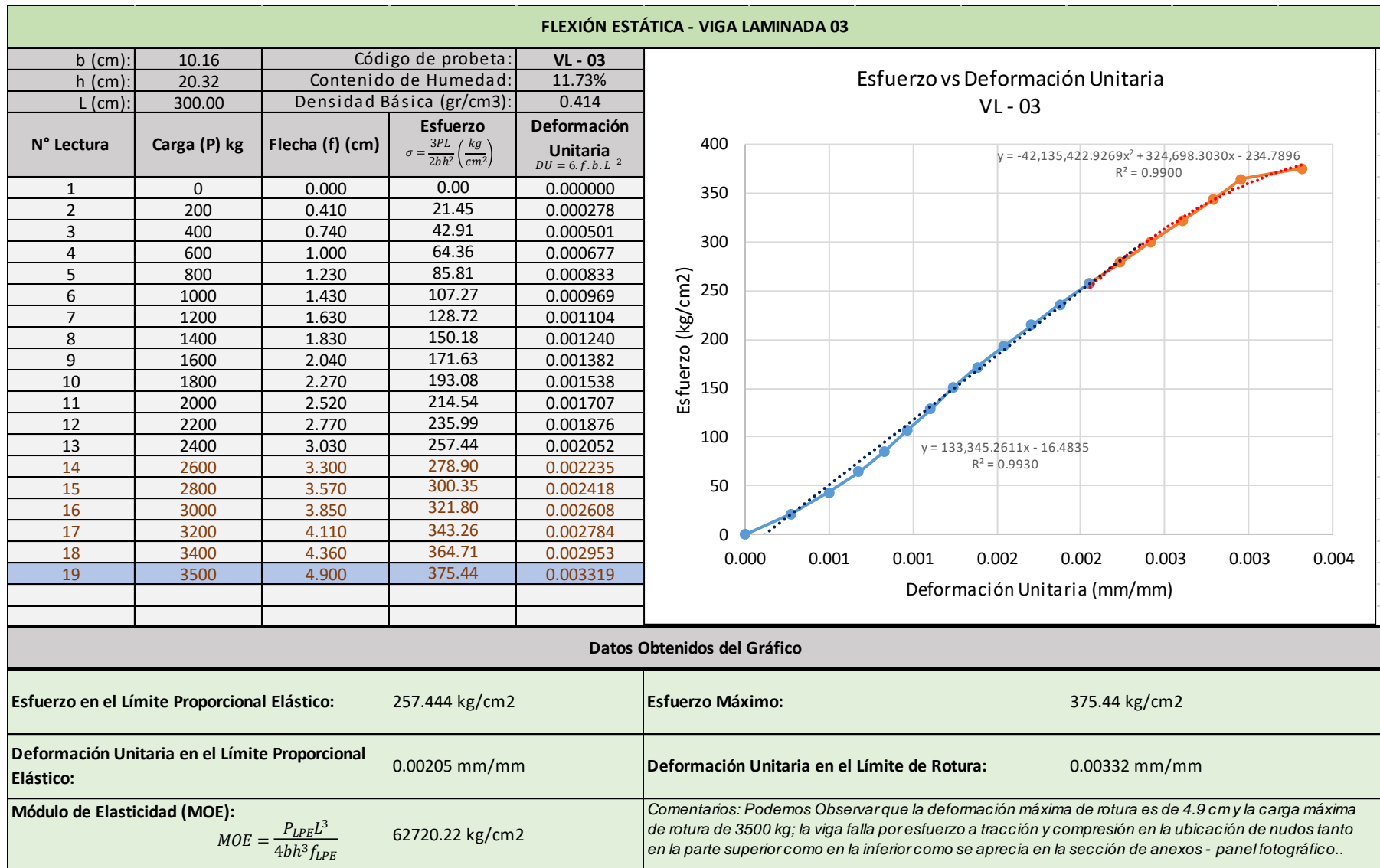
FLEXIÓN ESTÁTICA - VIGA MACIZA 04

b (cm):	10.16	Código de probeta:	VM - 04
h (cm):	20.32	Contenido de Humedad:	11.25%
L (cm):	300.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.480
N° Lectura	Carga (P) kg	Flecha (f) (cm)	Esfuerzo Unitario $\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$ $DU = 6 \cdot f \cdot b \cdot L^{-2}$
1	0	0.000	0.00
2	200	1.200	21.45
3	400	1.600	42.91
4	600	1.980	64.36
5	800	2.300	85.81
6	1000	2.800	107.27
7	1200	3.500	128.72
8	1400	3.700	150.18
9	1600	4.200	171.63
10	1800	4.800	193.08
11	2000	5.600	214.54
12	2200	6.000	235.99
13	2300	12.000	246.72

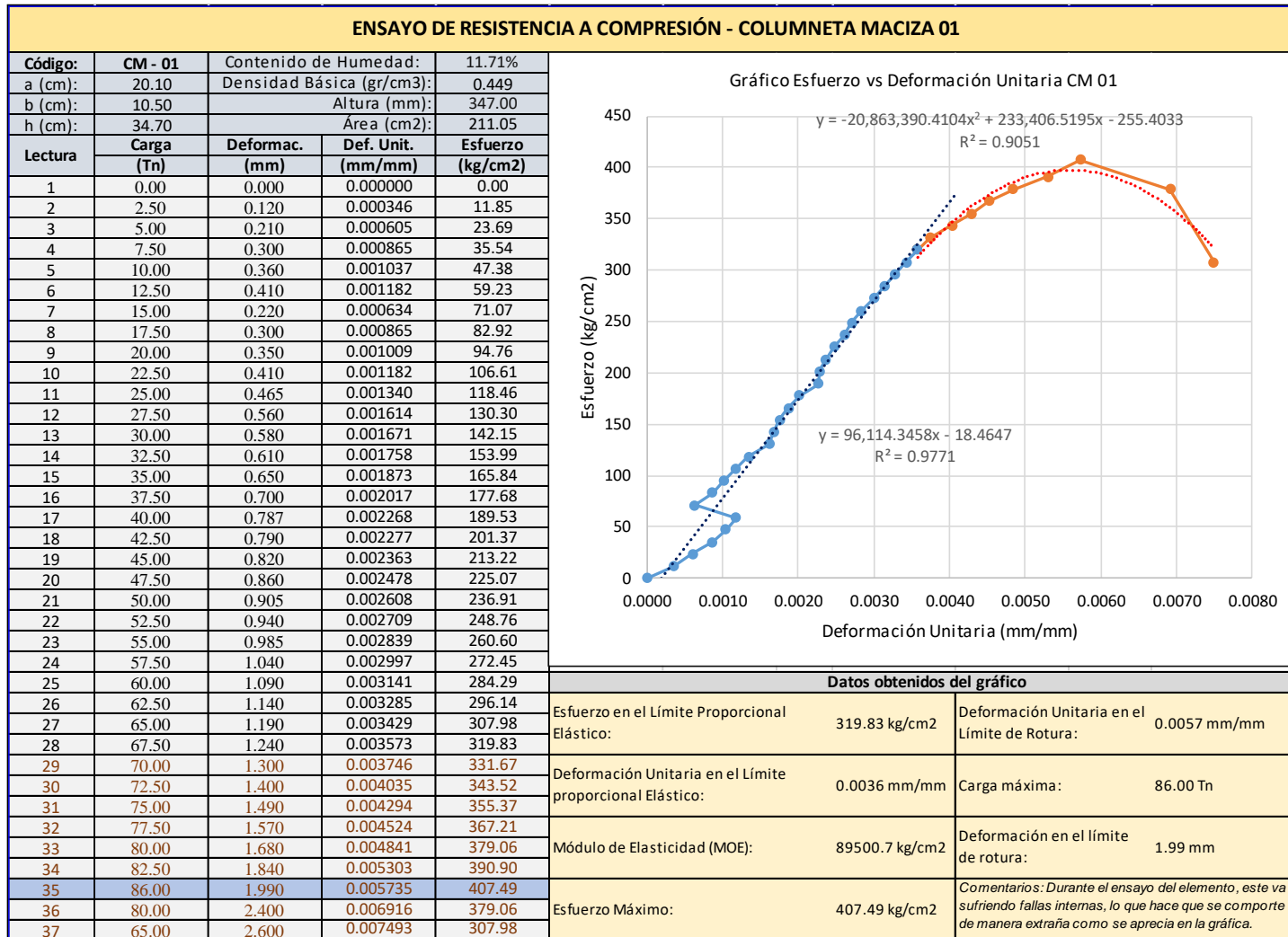


Datos Obtenidos del Gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	193.083 kg/cm2	Esfuerzo Máximo:	246.72 kg/cm2
Deformación Unitaria en el Límite Proporcional Elástico:	0.00813 mm/mm	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.00813 mm/mm
Módulo de Elasticidad (MOE): $MOE = \frac{P_{LPE}L^3}{4bh^3 f_{LPE}}$	29694.10 kg/cm2	<i>Comentarios: Podemos Observar que la deformación máxima de rotura es de 2.00 cm y la carga máxima de rotura de 2300 kg. la viga falla por esfuerzo a tracción, detalles en la sección Anexos - panel fotográfico.</i>	

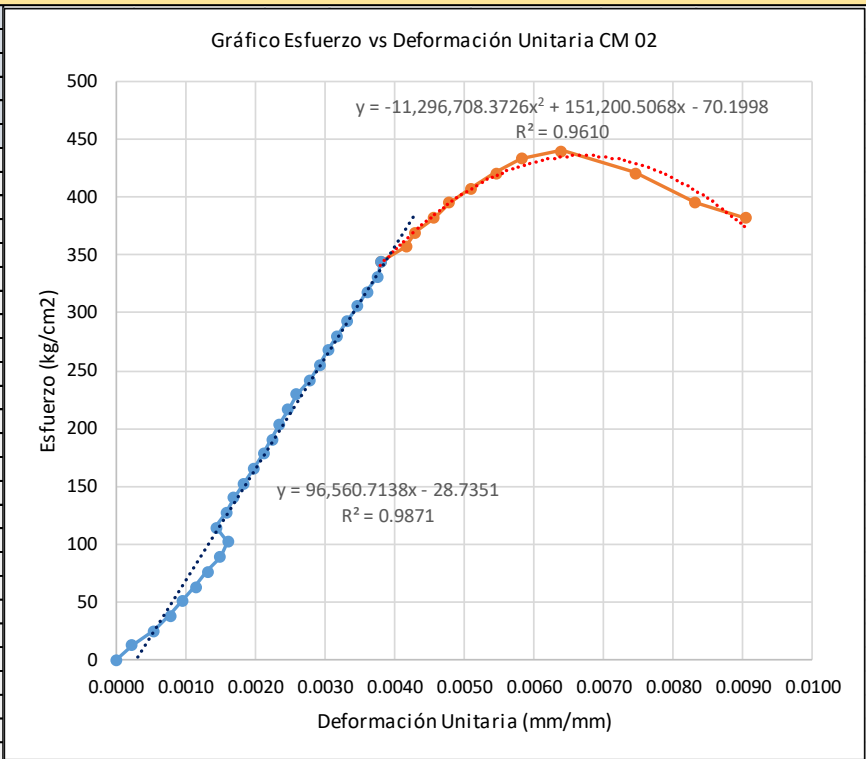


Anexo 8. Ensayos a compresión pura de las columnetas macizas – NTP 251.014.



ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 02

Código:	CM - 02	Contenido de Humedad:	11.58%	
a (cm):	19.60	Densidad Básica (gr/cm3):	0.459	
b (cm):	10.00	Altura (mm):	348.50	
h (cm):	34.85	Area (cm2):	196.00	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.080	0.000230	12.76
3	5.00	0.190	0.000545	25.51
4	7.50	0.270	0.000775	38.27
5	10.00	0.330	0.000947	51.02
6	12.50	0.400	0.001148	63.78
7	15.00	0.460	0.001320	76.53
8	17.50	0.520	0.001492	89.29
9	20.00	0.560	0.001607	102.04
10	22.50	0.500	0.001435	114.80
11	25.00	0.550	0.001578	127.55
12	27.50	0.590	0.001693	140.31
13	30.00	0.640	0.001836	153.06
14	32.50	0.690	0.001980	165.82
15	35.00	0.740	0.002123	178.57
16	37.50	0.780	0.002238	191.33
17	40.00	0.820	0.002353	204.08
18	42.50	0.860	0.002468	216.84
19	45.00	0.905	0.002597	229.59
20	47.50	0.970	0.002783	242.35
21	50.00	1.020	0.002927	255.10
22	52.50	1.060	0.003042	267.86
23	55.00	1.110	0.003185	280.61
24	57.50	1.160	0.003329	293.37
25	60.00	1.210	0.003472	306.12
26	62.50	1.255	0.003601	318.88
27	65.00	1.310	0.003759	331.63
28	67.50	1.325	0.003802	344.39
29	70.00	1.450	0.004161	357.14
30	72.50	1.500	0.004304	369.90
31	75.00	1.590	0.004562	382.65
32	77.50	1.670	0.004792	395.41
33	80.00	1.780	0.005108	408.16
34	82.50	1.900	0.005452	420.92
35	85.00	2.030	0.005825	433.67
36	86.30	2.230	0.006399	440.31
37	82.50	2.600	0.007461	420.92
38	77.50	2.900	0.008321	395.41
39	75.00	3.150	0.009039	382.65

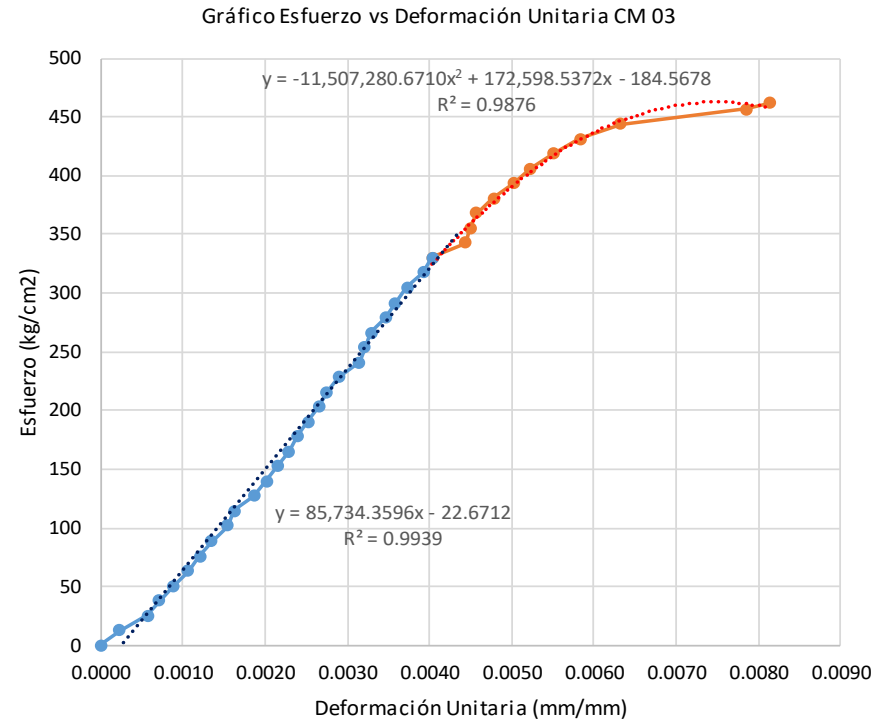


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	344.39 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0064 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0038 mm/mm	Carga máxima:	86.30 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	90580.5 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.23 mm
Esfuerzo Máximo:	440.31 kg/cm2	<i>Comentario: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 03

Código:	CM - 03	Contenido de Humedad:	11.49%	
a (cm):	19.90	Densidad Básica (gr/cm3):	0.446	
b (cm):	9.90	Altura (mm):	349.10	
h (cm):	34.91	Área (cm2):	197.01	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	
			Esfuerzo (kg/cm2)	
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.080	0.000229	12.69
3	5.00	0.200	0.000573	25.38
4	7.50	0.250	0.000716	38.07
5	10.00	0.310	0.000888	50.76
6	12.50	0.370	0.001060	63.45
7	15.00	0.420	0.001203	76.14
8	17.50	0.470	0.001346	88.83
9	20.00	0.540	0.001547	101.52
10	22.50	0.565	0.001618	114.21
11	25.00	0.650	0.001862	126.90
12	27.50	0.705	0.002019	139.59
13	30.00	0.750	0.002148	152.28
14	32.50	0.800	0.002292	164.97
15	35.00	0.834	0.002389	177.66
16	37.50	0.880	0.002521	190.35
17	40.00	0.925	0.002650	203.04
18	42.50	0.960	0.002750	215.73
19	45.00	1.010	0.002893	228.41
20	47.50	1.100	0.003151	241.10
21	50.00	1.120	0.003208	253.79
22	52.50	1.150	0.003294	266.48
23	55.00	1.210	0.003466	279.17
24	57.50	1.250	0.003581	291.86
25	60.00	1.300	0.003724	304.55
26	62.50	1.370	0.003924	317.24
27	65.00	1.410	0.004039	329.93
28	67.50	1.550	0.004440	342.62
29	70.00	1.570	0.004497	355.31
30	72.50	1.596	0.004572	368.00
31	75.00	1.670	0.004784	380.69
32	77.50	1.754	0.005024	393.38
33	80.00	1.825	0.005228	406.07
34	82.50	1.920	0.005500	418.76
35	85.00	2.035	0.005829	431.45
36	87.50	2.210	0.006331	444.14
37	90.00	2.740	0.007849	456.83
38	91.00	2.840	0.008135	461.91

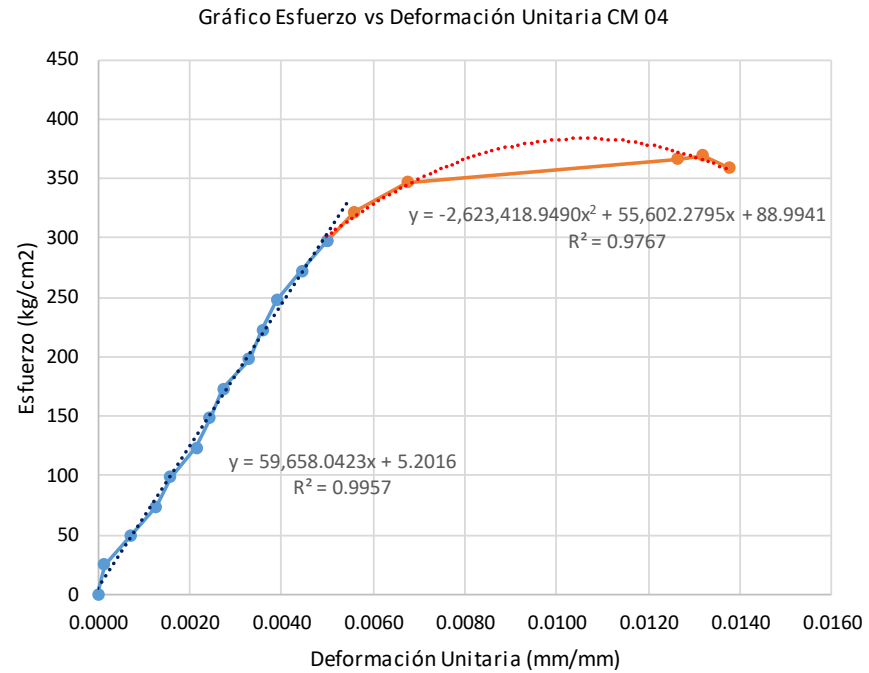


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	329.93 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0081 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0040 mm/mm	Carga máxima:	91.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	81687.5 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.84 mm
Esfuerzo Máximo:	461.91 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 04

Código:	CM - 04	Contenido de Humedad:	11.13%	
a (cm):	20.30	Densidad Básica (gr/cm3):	0.467	
b (cm):	10.15	Altura (mm):	348.50	
h (cm):	34.85	Área (cm2):	206.05	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	5.10	0.050	0.000143	24.75
3	10.20	0.250	0.000717	49.49
4	15.30	0.440	0.001263	74.24
5	20.39	0.550	0.001578	98.98
6	25.49	0.745	0.002138	123.73
7	30.59	0.850	0.002439	148.47
8	35.69	0.950	0.002726	173.22
9	40.79	1.150	0.003300	197.96
10	45.89	1.250	0.003587	222.71
11	50.99	1.355	0.003888	247.45
12	56.08	1.550	0.004448	272.20
13	61.18	1.740	0.004993	296.94
14	66.28	1.950	0.005595	321.69
15	71.38	2.350	0.006743	346.43
16	75.46	4.400	0.012626	366.23
17	76.14	4.600	0.013199	369.55
18	73.93	4.800	0.013773	358.80

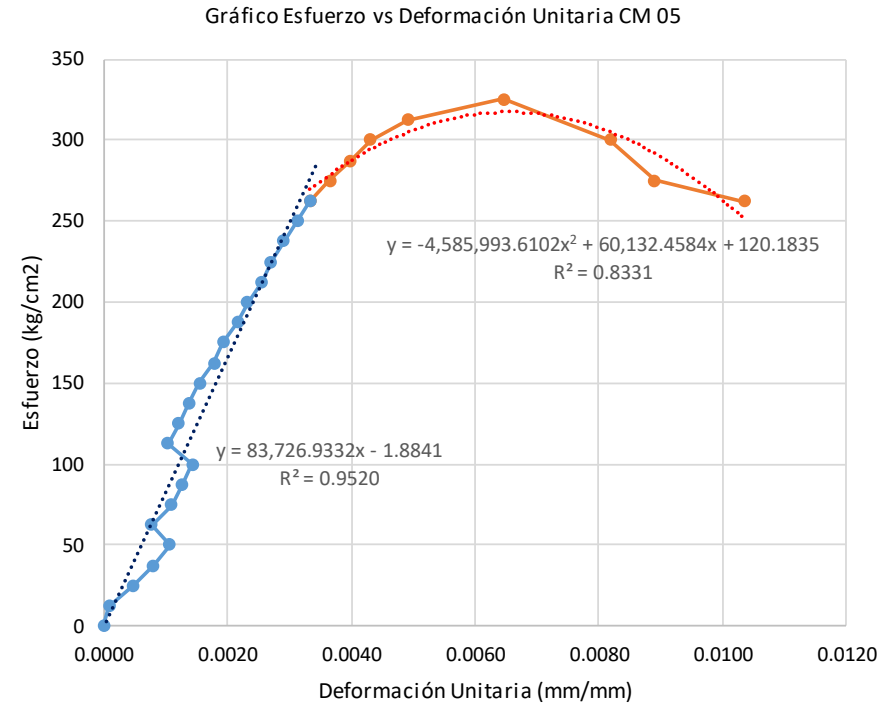


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	296.94 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0132 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0050 mm/mm	Carga máxima:	76.14 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	59473.5 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	4.60 mm
Esfuerzo Máximo:	369.55 kg/cm2	Comentarios: El ensayo del elemento se hizo en el otro equipo para ensayos a compresión, el cual nos arroja el resultado de la fuerza que se está aplicando en Kilonewton (kN), para lo que se tuvo que multiplicar por 0.101972 para tener la lectura en Tn.	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 05

Código:	CM - 05	Contenido de Humedad:	11.41%	
a (cm):	20.20	Densidad Básica (gr/cm3):	0.463	
b (cm):	9.90	Altura (mm):	348.00	
h (cm):	34.80	Área (cm2):	199.98	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.030	0.000086	12.50
3	5.00	0.165	0.000474	25.00
4	7.50	0.280	0.000805	37.50
5	10.00	0.370	0.001063	50.01
6	12.50	0.270	0.000776	62.51
7	15.00	0.380	0.001092	75.01
8	17.50	0.440	0.001264	87.51
9	20.00	0.500	0.001437	100.01
10	22.50	0.360	0.001034	112.51
11	25.00	0.420	0.001207	125.01
12	27.50	0.480	0.001379	137.51
13	30.00	0.540	0.001552	150.02
14	32.50	0.620	0.001782	162.52
15	35.00	0.670	0.001925	175.02
16	37.50	0.750	0.002155	187.52
17	40.00	0.810	0.002328	200.02
18	42.50	0.890	0.002557	212.52
19	45.00	0.940	0.002701	225.02
20	47.50	1.010	0.002902	237.52
21	50.00	1.090	0.003132	250.03
22	52.50	1.160	0.003333	262.53
23	55.00	1.270	0.003649	275.03
24	57.50	1.390	0.003994	287.53
25	60.00	1.500	0.004310	300.03
26	62.50	1.710	0.004914	312.53
27	65.00	2.250	0.006466	325.03
28	60.00	2.850	0.008190	300.03
29	55.00	3.100	0.008908	275.03
30	52.50	3.600	0.010345	262.53

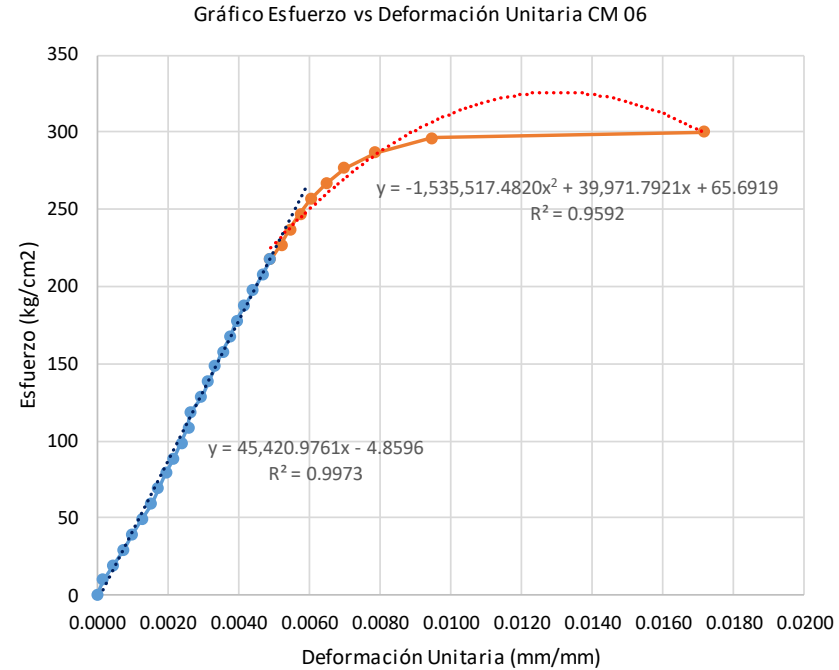


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	262.53 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0065 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0065 mm/mm	Carga máxima:	65.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	40604.1 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.25 mm
Esfuerzo Máximo:	325.03 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 06

Código:	CM - 06	Contenido de Humedad:	11.56%	
a (cm):	23.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.461	
b (cm):	11.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	253.00	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.060	0.000172	9.88
3	5.00	0.160	0.000458	19.76
4	7.50	0.265	0.000759	29.64
5	10.00	0.350	0.001003	39.53
6	12.50	0.440	0.001261	49.41
7	15.00	0.535	0.001533	59.29
8	17.50	0.604	0.001731	69.17
9	20.00	0.680	0.001948	79.05
10	22.50	0.755	0.002163	88.93
11	25.00	0.830	0.002378	98.81
12	27.50	0.900	0.002579	108.70
13	30.00	0.920	0.002636	118.58
14	32.50	1.030	0.002951	128.46
15	35.00	1.100	0.003152	138.34
16	37.50	1.160	0.003324	148.22
17	40.00	1.240	0.003553	158.10
18	42.50	1.320	0.003782	167.98
19	45.00	1.380	0.003954	177.87
20	47.50	1.455	0.004169	187.75
21	50.00	1.540	0.004413	197.63
22	52.50	1.634	0.004682	207.51
23	55.00	1.710	0.004900	217.39
24	57.50	1.820	0.005215	227.27
25	60.00	1.900	0.005444	237.15
26	62.50	2.010	0.005759	247.04
27	65.00	2.110	0.006046	256.92
28	67.50	2.264	0.006487	266.80
29	70.00	2.440	0.006991	276.68
30	72.50	2.744	0.007862	286.56
31	75.00	3.310	0.009484	296.44
32	76.00	5.990	0.017163	300.40

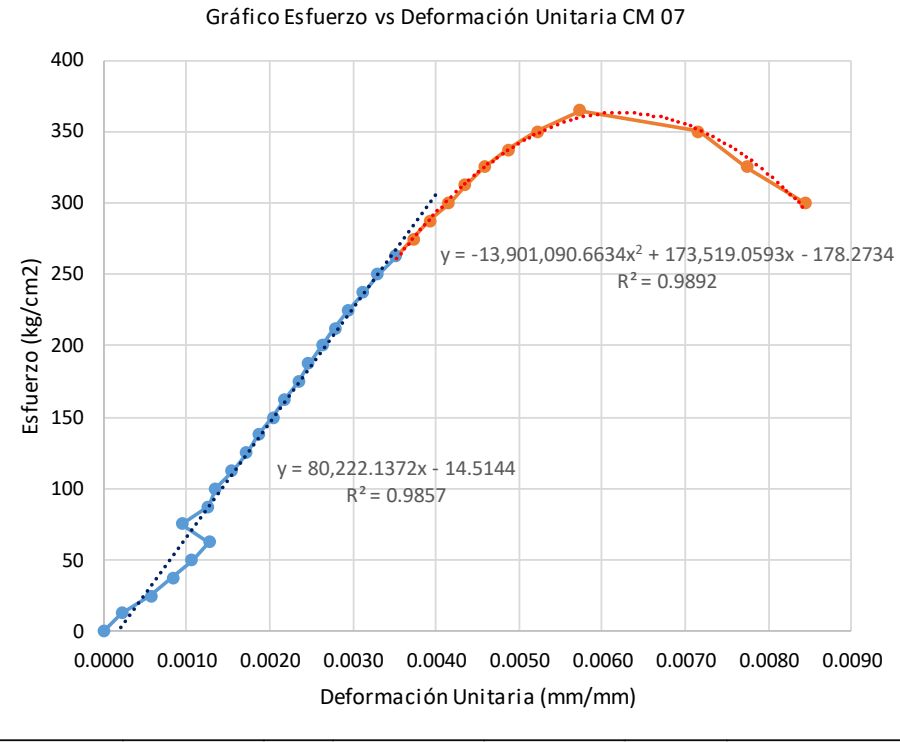


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	217.39 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0172 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0049 mm/mm	Carga máxima:	76.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	44368.2 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	5.99 mm
Esfuerzo Máximo:	300.40 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 07

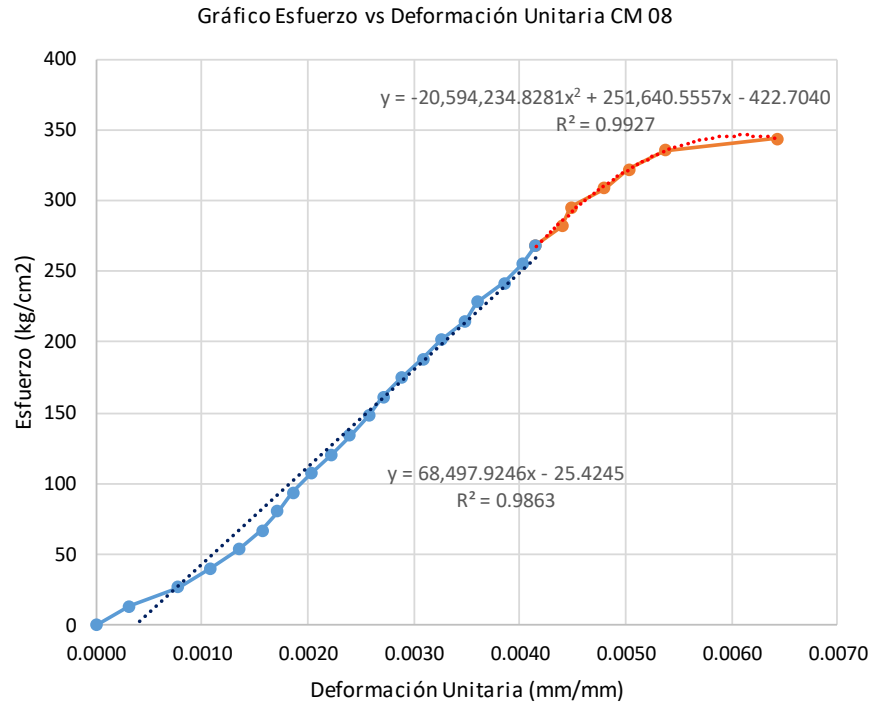
Código:	CM - 07	Contenido de Humedad:	11.42%	
a (cm):	20.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.458	
b (cm):	10.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	200.00	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	
			Esfuerzo (kg/cm2)	
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.075	0.000215	12.50
3	5.00	0.200	0.000573	25.00
4	7.50	0.291	0.000834	37.50
5	10.00	0.370	0.001060	50.00
6	12.50	0.445	0.001275	62.50
7	15.00	0.330	0.000946	75.00
8	17.50	0.440	0.001261	87.50
9	20.00	0.470	0.001347	100.00
10	22.50	0.540	0.001547	112.50
11	25.00	0.600	0.001719	125.00
12	27.50	0.650	0.001862	137.50
13	30.00	0.710	0.002034	150.00
14	32.50	0.760	0.002178	162.50
15	35.00	0.820	0.002350	175.00
16	37.50	0.860	0.002464	187.50
17	40.00	0.920	0.002636	200.00
18	42.50	0.970	0.002779	212.50
19	45.00	1.030	0.002951	225.00
20	47.50	1.090	0.003123	237.50
21	50.00	1.150	0.003295	250.00
22	52.50	1.230	0.003524	262.50
23	55.00	1.300	0.003725	275.00
24	57.50	1.370	0.003926	287.50
25	60.00	1.450	0.004155	300.00
26	62.50	1.520	0.004355	312.50
27	65.00	1.600	0.004585	325.00
28	67.50	1.700	0.004871	337.50
29	70.00	1.820	0.005215	350.00
30	73.00	2.000	0.005731	365.00
31	70.00	2.500	0.007163	350.00
32	65.00	2.700	0.007736	325.00
33	60.00	2.950	0.008453	300.00



Datos obtenidos del gráfico			
Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	262.50 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0057 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0035 mm/mm	Carga máxima:	73.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	74481.7 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.00 mm
Esfuerzo Máximo:	365.00 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 08

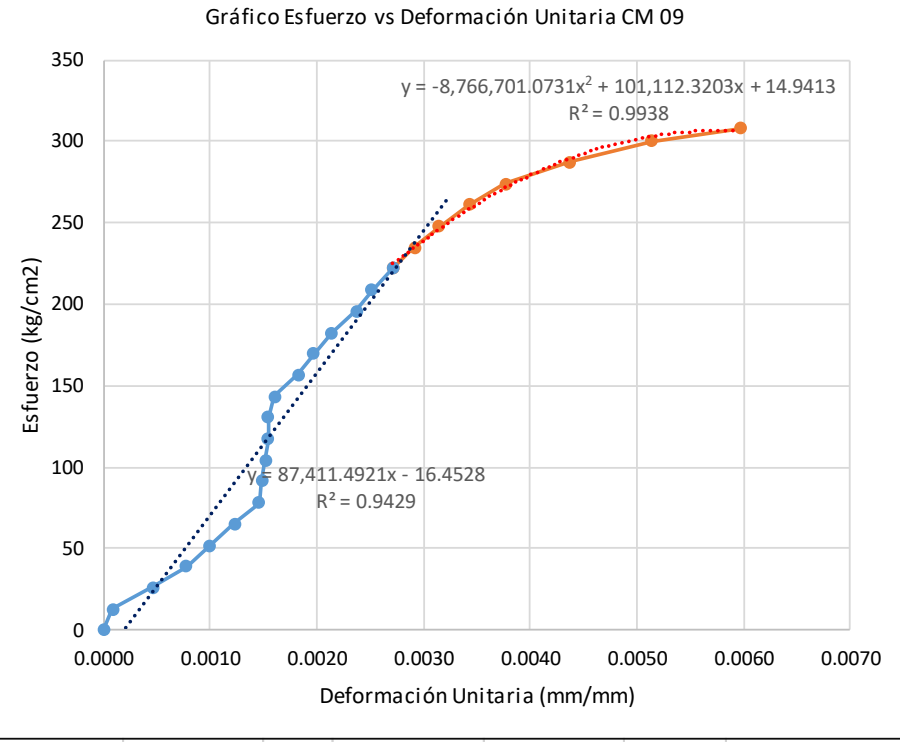
Código:	CM - 08	Contenido de Humedad:	11.55%	
a (cm):	19.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.447	
b (cm):	9.80	Altura (mm):	350.00	
h (cm):	35.00	Área (cm2):	186.20	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.110	0.000314	13.43
3	5.00	0.270	0.000771	26.85
4	7.50	0.380	0.001086	40.28
5	10.00	0.470	0.001343	53.71
6	12.50	0.550	0.001571	67.13
7	15.00	0.600	0.001714	80.56
8	17.50	0.650	0.001857	93.98
9	20.00	0.710	0.002029	107.41
10	22.50	0.780	0.002229	120.84
11	25.00	0.840	0.002400	134.26
12	27.50	0.900	0.002571	147.69
13	30.00	0.950	0.002714	161.12
14	32.50	1.010	0.002886	174.54
15	35.00	1.080	0.003086	187.97
16	37.50	1.140	0.003257	201.40
17	40.00	1.220	0.003486	214.82
18	42.50	1.260	0.003600	228.25
19	45.00	1.350	0.003857	241.68
20	47.50	1.410	0.004029	255.10
21	50.00	1.455	0.004157	268.53
22	52.50	1.540	0.004400	281.95
23	55.00	1.570	0.004486	295.38
24	57.50	1.680	0.004800	308.81
25	60.00	1.760	0.005029	322.23
26	62.50	1.880	0.005371	335.66
27	64.00	2.250	0.006429	343.72



Datos obtenidos del gráfico			
Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	268.53 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0064 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0042 mm/mm	Carga máxima:	64.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	64594.5 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.25 mm
Esfuerzo Máximo:	343.72 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 09

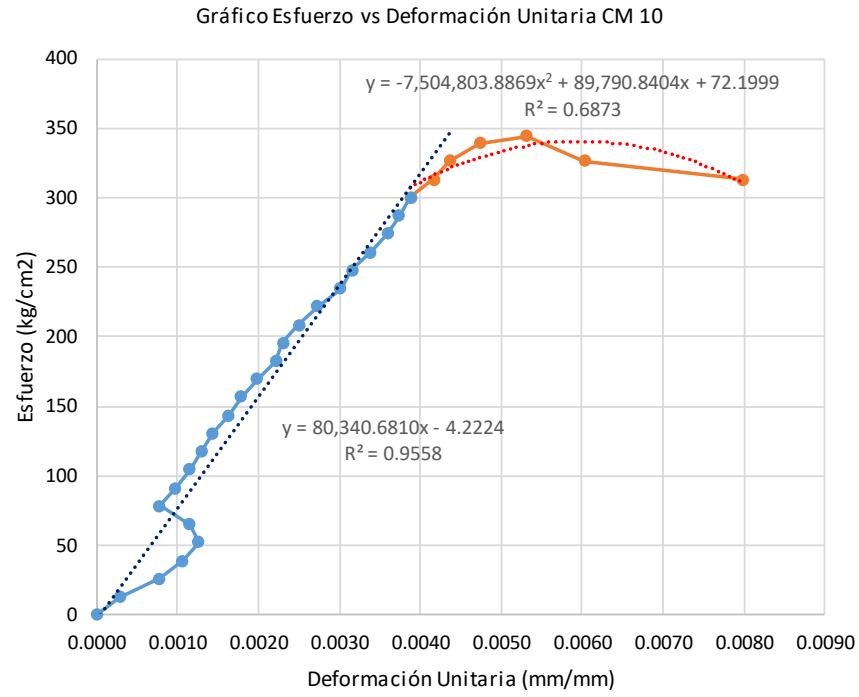
Código:	CM - 09	Contenido de Humedad:	11.69%	
a (cm):	19.45	Densidad Básica (gr/cm3):	0.407	
b (cm):	9.85	Altura (mm):	350.00	
h (cm):	35.00	Área (cm2):	191.58	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.030	0.000086	13.05
3	5.00	0.160	0.000457	26.10
4	7.50	0.270	0.000771	39.15
5	10.00	0.350	0.001000	52.20
6	12.50	0.430	0.001229	65.25
7	15.00	0.510	0.001457	78.30
8	17.50	0.520	0.001486	91.34
9	20.00	0.530	0.001514	104.39
10	22.50	0.540	0.001543	117.44
11	25.00	0.540	0.001543	130.49
12	27.50	0.560	0.001600	143.54
13	30.00	0.640	0.001829	156.59
14	32.50	0.690	0.001971	169.64
15	35.00	0.750	0.002143	182.69
16	37.50	0.830	0.002371	195.74
17	40.00	0.880	0.002514	208.79
18	42.50	0.950	0.002714	221.84
19	45.00	1.020	0.002914	234.89
20	47.50	1.100	0.003143	247.93
21	50.00	1.200	0.003429	260.98
22	52.50	1.320	0.003771	274.03
23	55.00	1.530	0.004371	287.08
24	57.50	1.800	0.005143	300.13
25	59.00	2.090	0.005971	307.96



Datos obtenidos del gráfico			
Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	221.84 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0060 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0027 mm/mm	Carga máxima:	59.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	81729.3 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.09 mm
Esfuerzo Máximo:	307.96 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

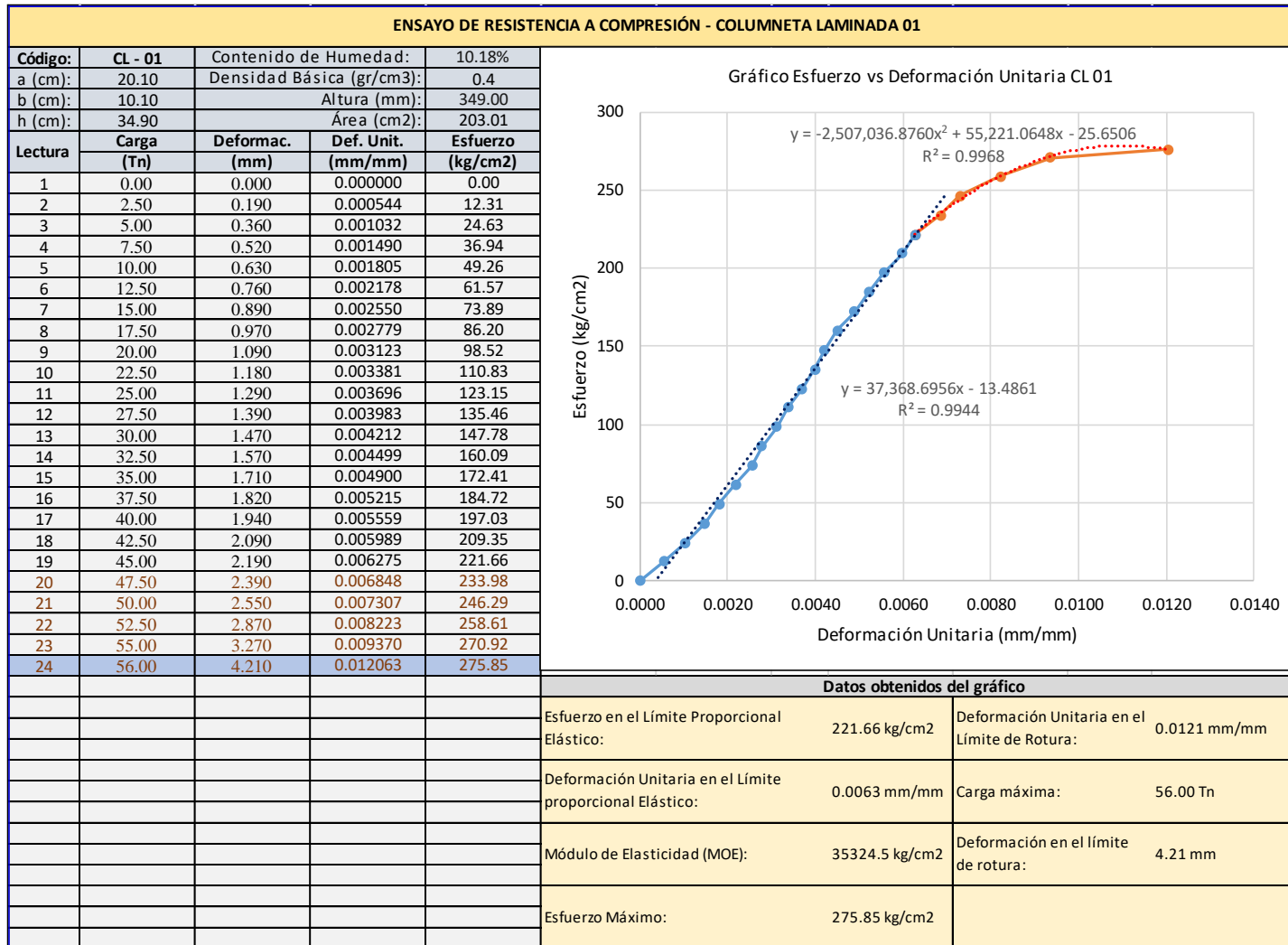
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA MACIZA 10

Código:	CM - 10	Contenido de Humedad:	11.51%	
a (cm):	19.75	Densidad Básica (gr/cm3):	0.459	
b (cm):	9.70	Altura (mm):	348.00	
h (cm):	34.80	Área (cm2):	191.58	
Lectura	Carga	Deformac.	Def. Unit.	
	(Tn)	(mm)	(mm/mm)	
			Esfuerzo	
			(kg/cm2)	
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.100	0.000287	13.05
3	5.00	0.270	0.000776	26.10
4	7.50	0.370	0.001063	39.15
5	10.00	0.440	0.001264	52.20
6	12.50	0.400	0.001149	65.25
7	15.00	0.270	0.000776	78.30
8	17.50	0.340	0.000977	91.35
9	20.00	0.400	0.001149	104.40
10	22.50	0.450	0.001293	117.45
11	25.00	0.500	0.001437	130.50
12	27.50	0.570	0.001638	143.55
13	30.00	0.620	0.001782	156.60
14	32.50	0.690	0.001983	169.65
15	35.00	0.770	0.002213	182.70
16	37.50	0.800	0.002299	195.75
17	40.00	0.870	0.002500	208.80
18	42.50	0.950	0.002730	221.85
19	45.00	1.050	0.003017	234.89
20	47.50	1.100	0.003161	247.94
21	50.00	1.180	0.003391	260.99
22	52.50	1.250	0.003592	274.04
23	55.00	1.300	0.003736	287.09
24	57.50	1.350	0.003879	300.14
25	60.00	1.450	0.004167	313.19
26	62.50	1.520	0.004368	326.24
27	65.00	1.650	0.004741	339.29
28	66.00	1.850	0.005316	344.51
29	62.50	2.100	0.006034	326.24
30	60.00	2.780	0.007989	313.19



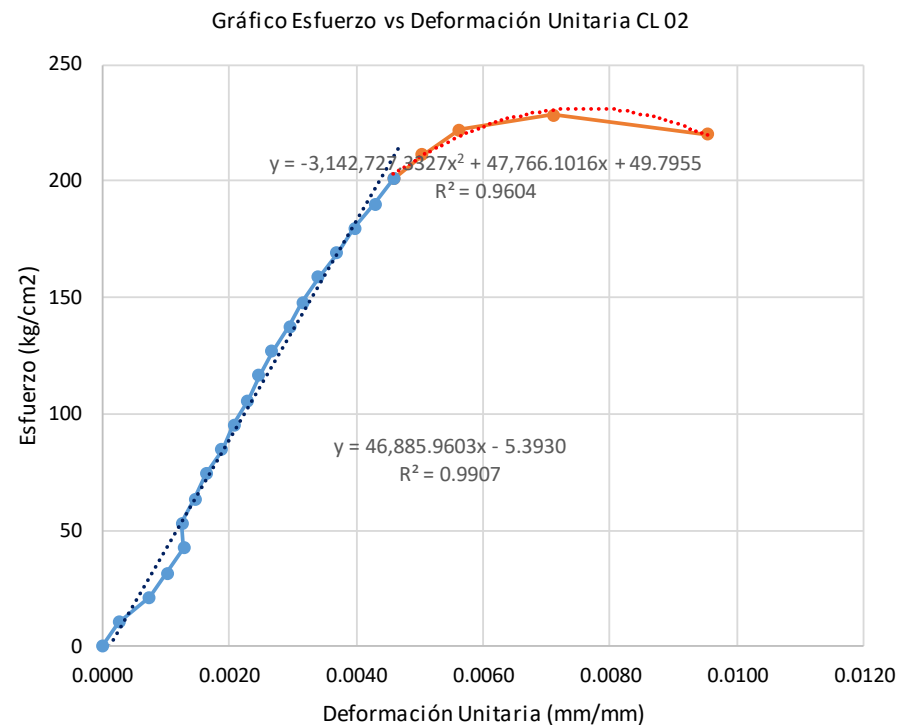
Datos obtenidos del gráfico			
Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	300.14 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0053 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0039 mm/mm	Carga máxima:	66.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	77370.3 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	1.85 mm
Esfuerzo Máximo:	344.51 kg/cm2	<i>Comentario: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

Anexo 9. Ensayos a compresión pura de las columnetas laminadas – NTP 251.014.



ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 02

Código:	CL - 02	Contenido de Humedad:	10.69%	
a (cm):	21.50	Densidad Básica (gr/cm3):	0.380	
b (cm):	11.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	236.50	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.090	0.000258	10.57
3	5.00	0.260	0.000745	21.14
4	7.50	0.356	0.001020	31.71
5	10.00	0.450	0.001289	42.28
6	12.50	0.440	0.001261	52.85
7	15.00	0.510	0.001461	63.42
8	17.50	0.570	0.001633	74.00
9	20.00	0.660	0.001891	84.57
10	22.50	0.724	0.002074	95.14
11	25.00	0.800	0.002292	105.71
12	27.50	0.860	0.002464	116.28
13	30.00	0.933	0.002673	126.85
14	32.50	1.030	0.002951	137.42
15	35.00	1.100	0.003152	147.99
16	37.50	1.190	0.003410	158.56
17	40.00	1.290	0.003696	169.13
18	42.50	1.390	0.003983	179.70
19	45.00	1.500	0.004298	190.27
20	47.50	1.600	0.004585	200.85
21	50.00	1.760	0.005043	211.42
22	52.50	1.962	0.005622	221.99
23	54.00	2.480	0.007106	228.33
24	52.00	3.330	0.009542	219.87

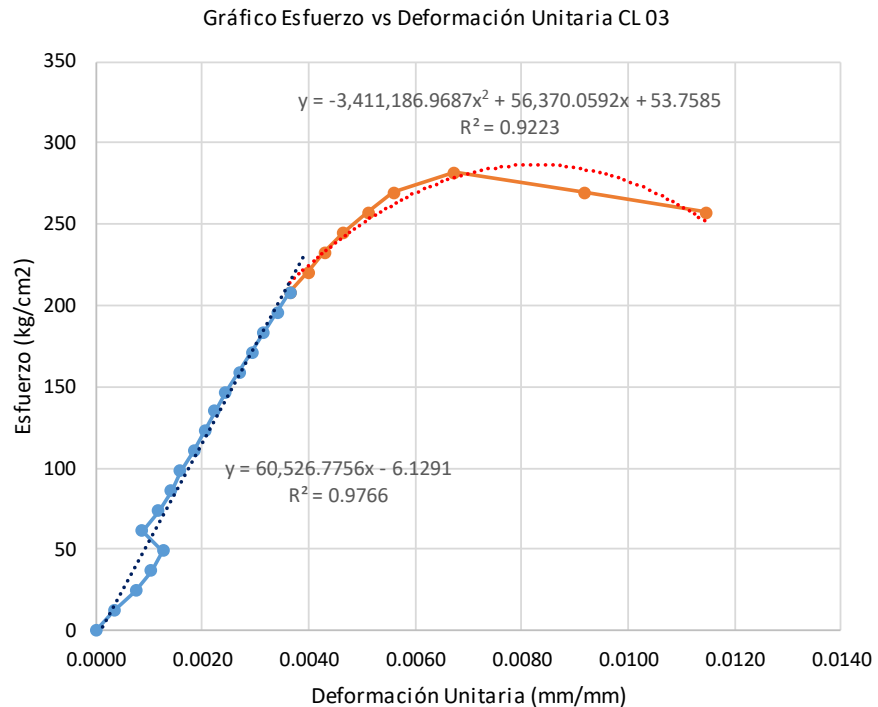


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	200.85 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0071 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0046 mm/mm	Carga máxima:	54.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	43809.5 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.48 mm
Esfuerzo Máximo:	228.33 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 03

Código:	CL - 03	Contenido de Humedad:	10.16%	
a (cm):	20.20	Densidad Básica (gr/cm3):	0.408	
b (cm):	10.10	Altura (mm):	348.50	
h (cm):	34.85	Área (cm2):	204.02	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.120	0.000344	12.25
3	5.00	0.260	0.000746	24.51
4	7.50	0.360	0.001033	36.76
5	10.00	0.440	0.001263	49.01
6	12.50	0.300	0.000861	61.27
7	15.00	0.410	0.001176	73.52
8	17.50	0.490	0.001406	85.78
9	20.00	0.550	0.001578	98.03
10	22.50	0.640	0.001836	110.28
11	25.00	0.710	0.002037	122.54
12	27.50	0.780	0.002238	134.79
13	30.00	0.850	0.002439	147.04
14	32.50	0.940	0.002697	159.30
15	35.00	1.020	0.002927	171.55
16	37.50	1.100	0.003156	183.81
17	40.00	1.190	0.003415	196.06
18	42.50	1.270	0.003644	208.31
19	45.00	1.390	0.003989	220.57
20	47.50	1.500	0.004304	232.82
21	50.00	1.620	0.004648	245.07
22	52.50	1.780	0.005108	257.33
23	55.00	1.950	0.005595	269.58
24	57.50	2.350	0.006743	281.84
25	55.00	3.200	0.009182	269.58
26	52.50	4.000	0.011478	257.33

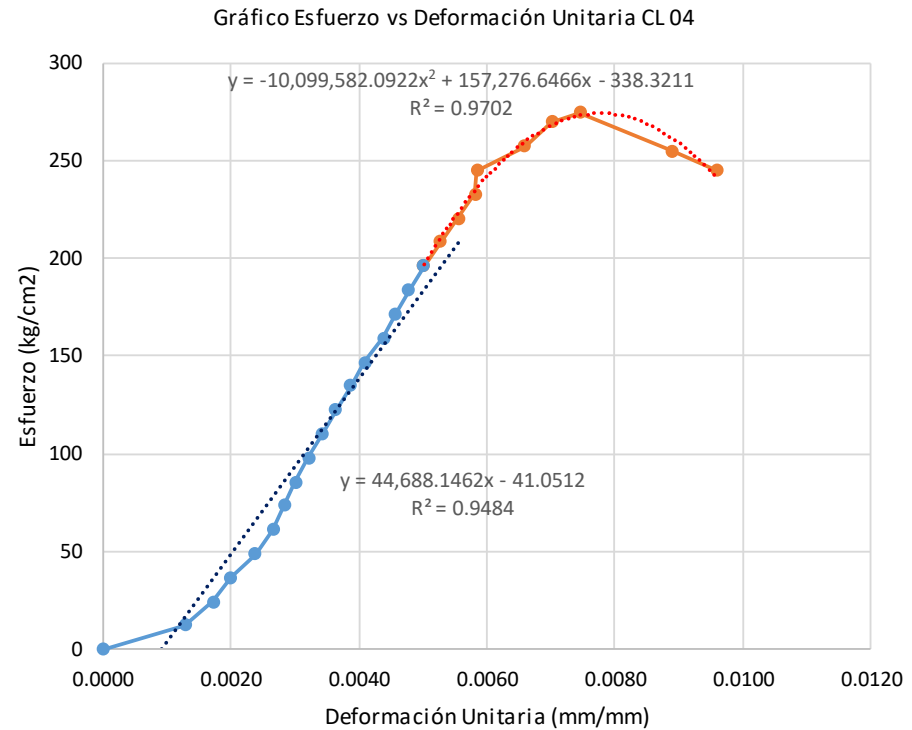


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	208.31 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0067 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0036 mm/mm	Carga máxima:	57.50 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	57163.0 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.35 mm
Esfuerzo Máximo:	281.84 kg/cm2	<i>Comentario: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 04

Código:	CL - 04	Contenido de Humedad:	11.52%	
a (cm):	20.20	Densidad Básica (gr/cm3):	0.377	
b (cm):	10.10	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	204.02	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.450	0.001289	12.25
3	5.00	0.600	0.001719	24.51
4	7.50	0.700	0.002006	36.76
5	10.00	0.830	0.002378	49.01
6	12.50	0.930	0.002665	61.27
7	15.00	0.990	0.002837	73.52
8	17.50	1.050	0.003009	85.78
9	20.00	1.120	0.003209	98.03
10	22.50	1.200	0.003438	110.28
11	25.00	1.270	0.003639	122.54
12	27.50	1.350	0.003868	134.79
13	30.00	1.430	0.004097	147.04
14	32.50	1.530	0.004384	159.30
15	35.00	1.595	0.004570	171.55
16	37.50	1.670	0.004785	183.81
17	40.00	1.750	0.005014	196.06
18	42.50	1.840	0.005272	208.31
19	45.00	1.940	0.005559	220.57
20	47.50	2.030	0.005817	232.82
21	50.00	2.040	0.005845	245.07
22	52.50	2.300	0.006590	257.33
23	55.00	2.450	0.007020	269.58
24	56.00	2.600	0.007450	274.48
25	52.00	3.100	0.008883	254.88
26	50.00	3.350	0.009599	245.07

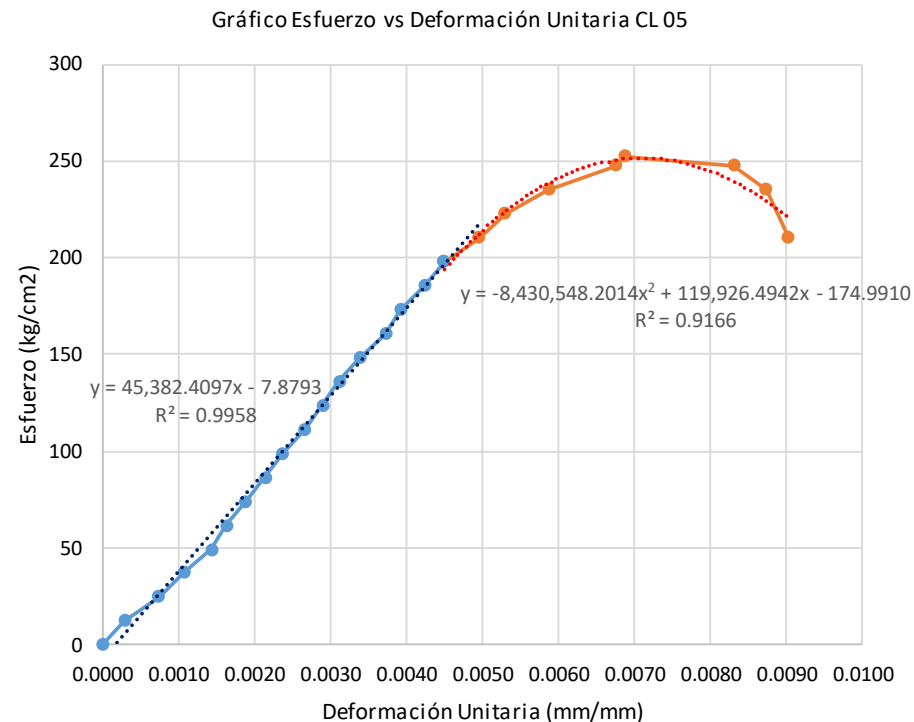


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	196.06 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0074 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0050 mm/mm	Carga máxima:	56.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	39099.8 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.60 mm
Esfuerzo Máximo:	274.48 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 05

Código:	CL - 05	Contenido de Humedad:	10.09%	
a (cm):	20.20	Densidad Básica (gr/cm3):	0.413	
b (cm):	10.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	202.00	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.100	0.000287	12.38
3	5.00	0.260	0.000745	24.75
4	7.50	0.374	0.001072	37.13
5	10.00	0.500	0.001433	49.50
6	12.50	0.570	0.001633	61.88
7	15.00	0.660	0.001891	74.26
8	17.50	0.750	0.002149	86.63
9	20.00	0.830	0.002378	99.01
10	22.50	0.930	0.002665	111.39
11	25.00	1.010	0.002894	123.76
12	27.50	1.090	0.003123	136.14
13	30.00	1.180	0.003381	148.51
14	32.50	1.300	0.003725	160.89
15	35.00	1.370	0.003926	173.27
16	37.50	1.480	0.004241	185.64
17	40.00	1.570	0.004499	198.02
18	42.50	1.730	0.004957	210.40
19	45.00	1.850	0.005301	222.77
20	47.50	2.050	0.005874	235.15
21	50.00	2.360	0.006762	247.52
22	51.00	2.400	0.006877	252.48
23	50.00	2.900	0.008309	247.52
24	47.50	3.050	0.008739	235.15
25	42.50	3.150	0.009026	210.40

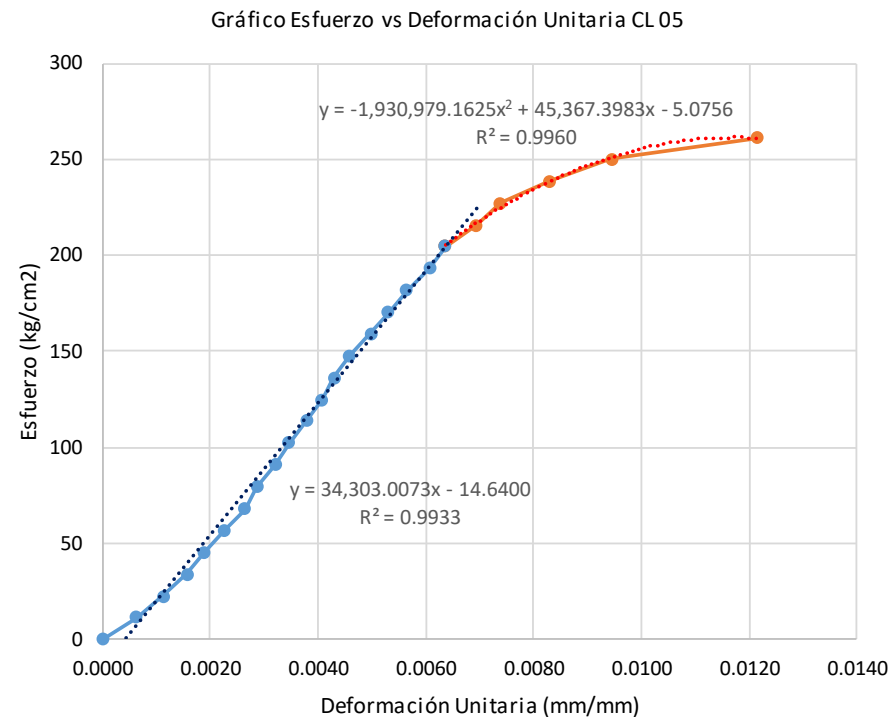


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	198.02 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0069 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0045 mm/mm	Carga máxima:	51.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	44018.4 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.40 mm
Esfuerzo Máximo:	252.48 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 06

Código:	CL - 06	Contenido de Humedad:	10.18%	
a (cm):	22.00	Densidad Básica (gr/cm3):	0.4	
b (cm):	10.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	220.00	
lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.220	0.000630	11.36
3	5.00	0.390	0.001117	22.73
4	7.50	0.550	0.001576	34.09
5	10.00	0.660	0.001891	45.45
6	12.50	0.790	0.002264	56.82
7	15.00	0.920	0.002636	68.18
8	17.50	1.000	0.002865	79.55
9	20.00	1.120	0.003209	90.91
10	22.50	1.210	0.003467	102.27
11	25.00	1.320	0.003782	113.64
12	27.50	1.420	0.004069	125.00
13	30.00	1.500	0.004298	136.36
14	32.50	1.600	0.004585	147.73
15	35.00	1.740	0.004986	159.09
16	37.50	1.850	0.005301	170.45
17	40.00	1.970	0.005645	181.82
18	42.50	2.120	0.006074	193.18
19	45.00	2.220	0.006361	204.55
20	47.50	2.420	0.006934	215.91
21	50.00	2.580	0.007393	227.27
22	52.50	2.900	0.008309	238.64
23	55.00	3.300	0.009456	250.00
24	57.50	4.240	0.012149	261.36

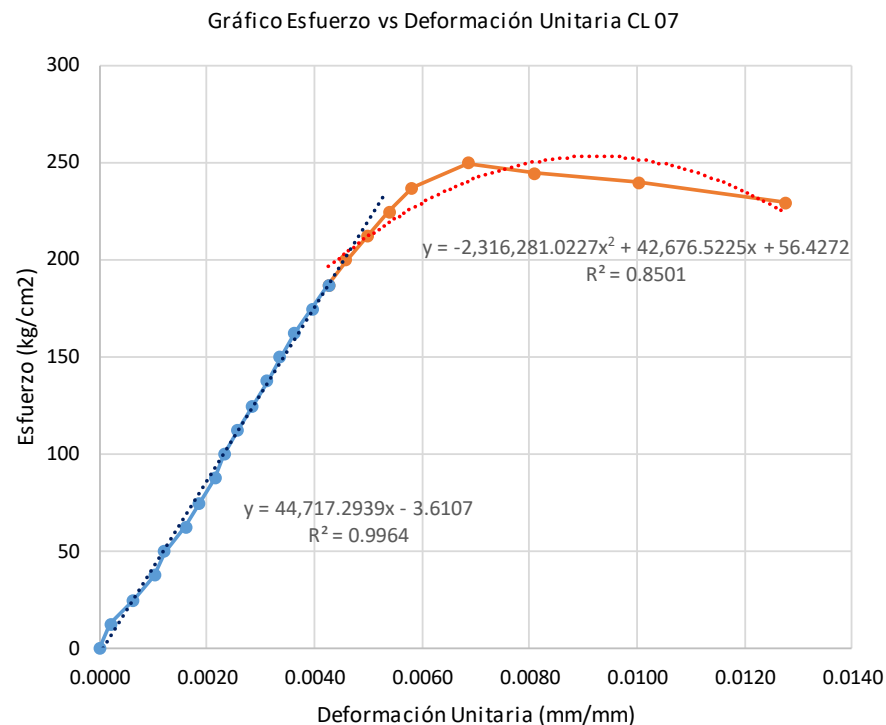


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	204.55 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0121 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0064 mm/mm	Carga máxima:	57.50 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	32156.0 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	4.24 mm
Esfuerzo Máximo:	261.36 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 07

Código:	CL - 07	Contenido de Humedad:	11.43%	
a (cm):	20.15	Densidad Básica (gr/cm3):	0.437	
b (cm):	9.95	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.9	Área (cm2):	200.49	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.070	0.000201	12.47
3	5.00	0.220	0.000630	24.94
4	7.50	0.355	0.001017	37.41
5	10.00	0.420	0.001203	49.88
6	12.50	0.560	0.001605	62.35
7	15.00	0.650	0.001862	74.82
8	17.50	0.750	0.002149	87.29
9	20.00	0.810	0.002321	99.75
10	22.50	0.900	0.002579	112.22
11	25.00	0.994	0.002848	124.69
12	27.50	1.090	0.003123	137.16
13	30.00	1.170	0.003352	149.63
14	32.50	1.270	0.003639	162.10
15	35.00	1.380	0.003954	174.57
16	37.50	1.490	0.004269	187.04
17	40.00	1.600	0.004585	199.51
18	42.50	1.740	0.004986	211.98
19	45.00	1.880	0.005387	224.45
20	47.50	2.030	0.005817	236.92
21	50.00	2.390	0.006848	249.39
22	49.00	2.830	0.008109	244.40
23	48.00	3.500	0.010029	239.41
24	46.00	4.450	0.012751	229.44

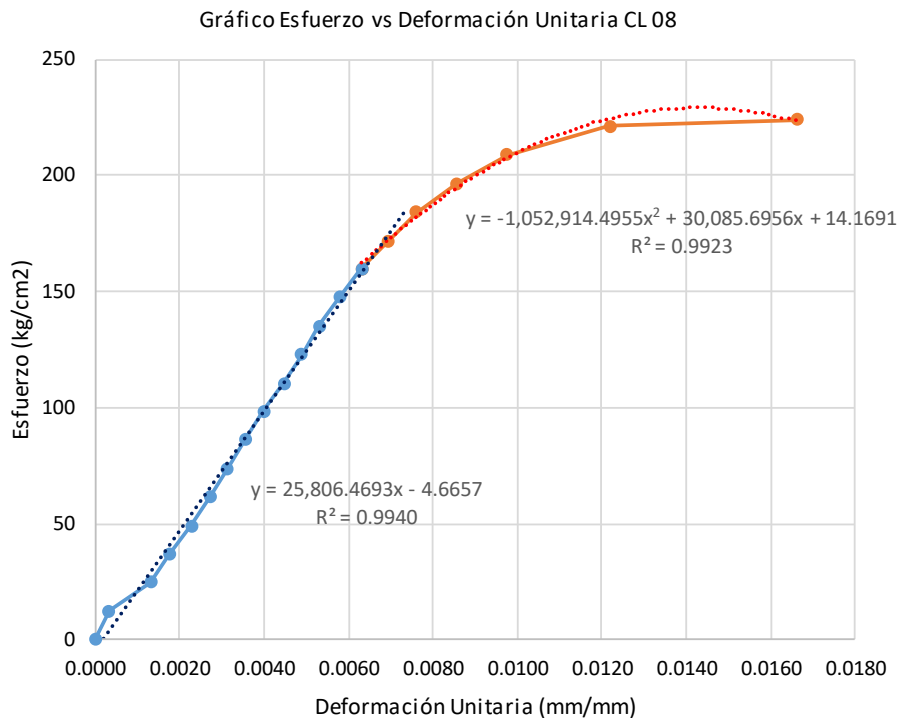


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	187.04 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0068 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0043 mm/mm	Carga máxima:	50.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	43809.9 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.39 mm
Esfuerzo Máximo:	249.39 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 08

Código:	CL - 08	Contenido de Humedad:	11.28%	
a (cm):	20.15	Densidad Básica (gr/cm3):	0.432	
b (cm):	10.10	Altura (mm):	348.50	
h (cm):	34.85	Área (cm2):	203.52	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.110	0.000316	12.28
3	5.00	0.460	0.001320	24.57
4	7.50	0.613	0.001759	36.85
5	10.00	0.795	0.002281	49.14
6	12.50	0.950	0.002726	61.42
7	15.00	1.090	0.003128	73.70
8	17.50	1.240	0.003558	85.99
9	20.00	1.390	0.003989	98.27
10	22.50	1.560	0.004476	110.56
11	25.00	1.700	0.004878	122.84
12	27.50	1.850	0.005308	135.13
13	30.00	2.020	0.005796	147.41
14	32.50	2.200	0.006313	159.69
15	35.00	2.420	0.006944	171.98
16	37.50	2.650	0.007604	184.26
17	40.00	2.990	0.008580	196.55
18	42.50	3.400	0.009756	208.83
19	45.00	4.250	0.012195	221.11
20	45.60	5.800	0.016643	224.06

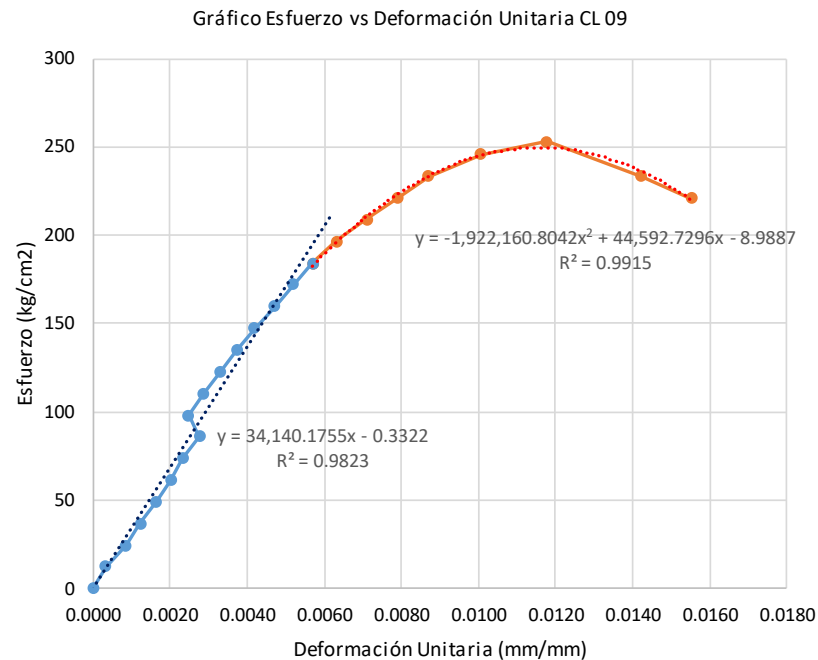


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	159.69 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0166 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0063 mm/mm	Carga máxima:	45.60 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	25296.9 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	5.80 mm
Esfuerzo Máximo:	224.06 kg/cm2		

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 09

Código:	CL - 09	Contenido de Humedad:	10.29%	
a (cm):	20.15	Densidad Básica (gr/cm3):	0.418	
b (cm):	10.10	Altura (mm):	348.00	
h (cm):	34.80	Área (cm2):	203.52	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.110	0.000316	12.28
3	5.00	0.300	0.000862	24.57
4	7.50	0.430	0.001236	36.85
5	10.00	0.570	0.001638	49.14
6	12.50	0.700	0.002011	61.42
7	15.00	0.810	0.002328	73.70
8	17.50	0.960	0.002759	85.99
9	20.00	0.860	0.002471	98.27
10	22.50	1.000	0.002874	110.56
11	25.00	1.150	0.003305	122.84
12	27.50	1.300	0.003736	135.13
13	30.00	1.460	0.004195	147.41
14	32.50	1.640	0.004713	159.69
15	35.00	1.810	0.005201	171.98
16	37.50	1.980	0.005690	184.26
17	40.00	2.200	0.006322	196.55
18	42.50	2.470	0.007098	208.83
19	45.00	2.750	0.007902	221.11
20	47.50	3.030	0.008707	233.40
21	50.00	3.500	0.010057	245.68
22	51.50	4.100	0.011782	253.05
23	47.50	4.950	0.014224	233.40
24	45.00	5.400	0.015517	221.11

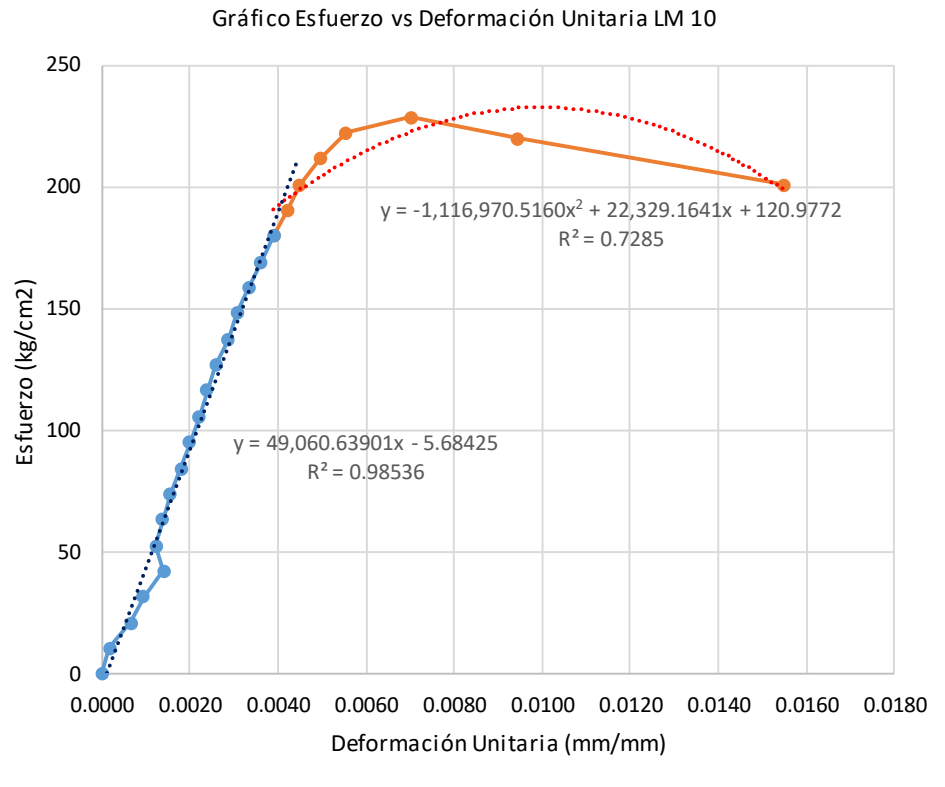


Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	184.26 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0118 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0057 mm/mm	Carga máxima:	51.50 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	32385.4 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	4.10 mm
Esfuerzo Máximo:	253.05 kg/cm2	<i>Comentarios: Durante el ensayo del elemento, este va sufriendo fallas internas, lo que hace que se comporte de manera extraña como se aprecia en la gráfica.</i>	

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN - COLUMNETA LAMINADA 10

Código:	CL - 10	Contenido de Humedad:	9.29%	
a (cm):	21.50	Densidad Básica (gr/cm3):	0.418	
b (cm):	11.00	Altura (mm):	349.00	
h (cm):	34.90	Área (cm2):	236.50	
Lectura	Carga (Tn)	Deformac. (mm)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.000000	0.00
2	2.50	0.060	0.000172	10.57
3	5.00	0.230	0.000659	21.14
4	7.50	0.326	0.000934	31.71
5	10.00	0.490	0.001404	42.28
6	12.50	0.430	0.001232	52.85
7	15.00	0.480	0.001375	63.42
8	17.50	0.540	0.001547	74.00
9	20.00	0.630	0.001805	84.57
10	22.50	0.694	0.001989	95.14
11	25.00	0.770	0.002206	105.71
12	27.50	0.830	0.002378	116.28
13	30.00	0.903	0.002587	126.85
14	32.50	1.000	0.002865	137.42
15	35.00	1.070	0.003066	147.99
16	37.50	1.160	0.003324	158.56
17	40.00	1.260	0.003610	169.13
18	42.50	1.360	0.003897	179.70
19	45.00	1.470	0.004212	190.27
20	47.50	1.570	0.004499	200.85
21	50.00	1.730	0.004957	211.42
22	52.50	1.932	0.005536	221.99
23	54.00	2.450	0.007020	228.33
24	52.00	3.300	0.009456	219.87
25	47.50	5.410	0.015501	200.85



Datos obtenidos del gráfico

Esfuerzo en el Límite Proporcional Elástico:	179.70 kg/cm2	Deformación Unitaria en el Límite de Rotura:	0.0070 mm/mm
Deformación Unitaria en el Límite proporcional Elástico:	0.0039 mm/mm	Carga máxima:	54.00 Tn
Módulo de Elasticidad (MOE):	46115.2 kg/cm2	Deformación en el límite de rotura:	2.45 mm
Esfuerzo Máximo:	228.33 kg/cm2		