Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

"DISEÑO DE PIEZAS DE MADERA DE PINO RADIATA A TRAVÉS DEL MÉTODO LRFD Y SU APLICACIÓN A UNA ESTRUCTURA DE MADERA"

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Civil en Obras Civiles.

Profesor Patrocinante
Sr. Adolfo Castro Bustamante
Ingeniero Civil. M.Sc. en Ingeniería Civil

Profesor Colaborador
Sr. Aldo Rolleri Saavedra
Ingeniero Forestal

Profesor Informante
Sr. Alejandro Niño Solis
Ingeniero Civil

CAROLINA ANDREA ZAMBRANO TRIVIÑO
VALDIVIA - CHILE
2012

INDICE

Pagina

RESUMEN

SUMMARY

CAPITULO I 1

INTRODUCCION 1

1.1.- Planteamiento del problema 2

1.2.- Revisión del estado del arte 3

1.3.- Objetivos 5

1.3.1.- Generales 5

1.3.2.- Específicos 5

CAPITULO II 6

MARCO TEÓRICO 6

2.1.- Calidad de madera- definición y significancia 7

2.1.1.- Atributos de calidad en la madera y la recuperación en la cadena de valor 7

2.1.2.- Atributos de la calidad en la madera y su impacto en su utilización 8

2.1.3.- Participación de Pinus radiata en las plantaciones industriales 9

2.1.3.1.- Especies forestales 9

2.1.3.2.- Pino Insigne (Radiata) 10

2.1.4.- La naturaleza de la madera 11

2.1.4.1.- Anatomía de la madera 11

2.1.4.2.- Estructura física de la madera 12

2.1.4.3.- Anillos de crecimiento 14

2.1.4.4.- Albura y duramen 15

2.1.4.5.- Madera juvenil 16

2.1.4.6.- Madera de reacción 17

2.1.5.- Composición química de la madera 17

2.1.6.- Propiedades físicas de la madera 19
2.1.6.1.- Contenido de humedad 19
2.1.6.2.- Estabilidad dimensional 20
2.1.6.3.- Higroscopicidad 21
2.1.6.4.- Densidad 22
2.1.7.- Propiedades mecánicas 23
2.1.7.1.- Propiedades elásticas de la madera 23
2.1.7.2.- Compresión paralela a las fibras 24
2.1.7.3.- Flexión estática 24
2.1.7.4.- Tenacidad 24
2.1.7.5.- Cizalle 25
2.1.7.6.- Clivaje 25
2.1.7.7.- Tracción 26
2.1.7.8.- Dureza 26
2.1.7.9.- Extracción de clavo 26
2.1.8.- Defectos presentes en la madera y su influencia en las propiedades mecánicas 27
2.1.8.1.- Angulo de las fibras 27
2.1.8.2.- Nudos 27
2.1.8.3.- Presencia de médula 28
2.1.8.4.- Defectos del secado 28
2.1.8.5.- Pudrición 29
2.1.8.6.- Temperatura 30
2.2.- Clasificación estructural 31
2.2.1.- Clasificación visual 31
2.2.2.- Clasificación mediante ensayos mecánicos 32
2.2.3.- Utilización de la técnica de ultrasonidos y de la técnica de análisis de vibraciones 34
2.2.4.- Madera estructural 35
2.3.- Diseño estructural de la madera 37
2.3.1- Valores característicos, tensión básica, tensión admisible, tensión de diseño

y tensión de trabajo 37
2.3.2- El método LRFD para estructuras de madera 39
2.3.2.2.- Límites de servicio 41
2.3.2.3.- Factores de ajuste 42
2.3.2.3.1.- Factor de efecto del tiempo (λ) 42
2.3.2.3.2.- Factor por miembro repetitivo (Cr) 43
2.3.2.3.3.- Factor de uso plano (Cfu) 43
2.3.2.3.4.- Factor del contenido de humedad (Cm) 44
2.3.2.3.5.- Factor de tamaño (Cf) 44
2.3.2.3.6.- Factor de efecto temperatura (Ct) 45
2.3.2.3.7.- Factor de corte (Ci) 45
2.3.2.3.8.- Resistencia ajustada 45
2.3.2.4.- Diseño de los miembros 46
2.3.2.4.1.- Miembros traccionados 46
2.3.2.4.2.- Miembros comprimidos 46
2.3.2.4.2.1.- Relación de esbeltez de una columna 47
2.3.2.4.2.2.- Resistencia de columnas prismáticas 48
2.3.2.4.3.- Miembros en flexión 48
2.3.2.4.3.1.- Resistencia al momento de vigas con apoyo lateral 49
2.3.2.4.3.2.- Resistencia al momento de vigas sin apoyo lateral total 49
2.3.2.4.4.- Miembros en corte flexional 51
2.3.2.4.5.- Miembros en torsión 51
2.3.2.4.6.- Esfuerzos combinados 52
2.3.2.4.6.1.- Resistencia a la flexotracción 52
2.3.2.4.6.2.- Resistencia a flexión biaxial y flexocompresión 53
2.3.2.5.- Consideraciones sobre los estados límites de servicio 53
2.3.2.6.- Deflexión límite 54
2.3.3.- El método de tensiones admisibles para estructuras de madera 55
2.3.3.1.- Factores de modificación 55

2.3.3.1.1.- Factor de modificación por contenido de humedad (Kh) 55
2.3.3.1.2.- Factor de modificación por duración de carga (Kd) 56
2.3.3.1.3.- Factor de modificación por trabajo en conjunto (Kc) 57
2.3.3.1.4.- Factor de modificación por temperatura 57
2.3.3.1.5.- Factor de modificación por tratamiento químico 57
2.3.3.2.- Dimensionamiento de piezas estructurales de madera aserrada 58
2.3.3.2.1.- Tensiones y módulos de elasticidad de diseño 58
2.3.3.2.2.- Secciones transversales mínimas 58
2.3.3.3.- Elementos en flexión 59
2.3.3.3.1.- Flexión uniaxial en vigas simples 59
2.3.3.4.- Cizalle en vigas simples 62
2.3.3.4.1.- Rebajes en los apoyos 62
2.3.3.5.- Elementos en compresión paralela 64
2.3.3.5.1.- Longitud efectiva de pandeo (l_p) 64
2.3.3.5.2.- Restricciones de esbeltez 65
2.3.3.5.3.- Piezas simples 65
2.3.3.5.4.- Factor de modificación por esbeltez, K_λ 66
2.3.3.6.- Elementos en tracción paralela 67
2.3.3.6.1.- Factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct} 67
2.3.3.7.- Elementos sometidos a esfuerzos combinados 68
2.3.3.7.1.- Flexión y tracción axial 68
2.3.3.7.2.- Flexión y compresión paralela 69
2.3.3.8.- Control de deformaciones 70

CAPITULO III 72
CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA 72
3.1.- Material y método 72
3.2.- Resultados y discusión 73
3.2.1.- Comparación de los proveedores en función de las propiedades físicas y mecánicas

de la madera 73
3.2.1.1.- Densidad 73
3.2.1.2.- Tensión máxima de rotura en flexión 74
3.2.2.-Comparación de los proveedores en función de la clasificación mecánica 75

CAPITULO IV 78
CÁLCULO DE UNA ESTRUCTURA POR MÉTODO ASD Y LRFD 78
4.1.- Material y método 78
4.2.- Desarrollo y cálculo 78
4.2.1.- Generalidades de la estructura 78
4.2.2.- Propiedades de los materiales 80
4.2.3.- Cargas que afectan la estructura 81
4.2.3.1.- Cargas permanentes 81
4.2.3.2.-Sobrecargas: según la norma NCh 1537 of 86 82
4.2.3.3.-Cargas de viento: según la norma NCh 432 of 71 82
4.2.3.4.-Cargas sísmicas: según la norma NCh 433 of 96 84
4.2.5.- Representación del modelo construido en Sap 2000 v.14, según la figura 5.6 89
4.3.- Cálculo de elementos estructurales principales a través de los métodos ASD y LRFD 90
4.3.1.- Vigas de piso 90
4.3.1.1- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles) 90
4.3.1.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura) 94
4.3.2.- Costaneras 96
4.3.2.1- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles) 96
4.3.2.2- Diseño por el método LRFD (método a la rotura) 100
4.3.3.- Vigas de techo 102
4.3.3.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles) 102
4.3.3.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura) 106
4.4.4.- Pie derecho (de esquina) 110

4.4.4.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles) 110
4.4.4.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura) 114
4.4.5.- Pie derecho (zona central) 117
4.4.5.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles) 117
4.4.5.2. - Diseño por el método LRFD (método a la rotura) 121
4.5.- Discusión de resultados 125

CAPITULO V 128
CONCLUSIÓN 128

BIBLIOGRAFÍA 129
ANEXOS 132

RESUMEN

En esta investigación se presenta la aplicación y comparación del método LRFD frente al método ASD, donde se determinó sus ventajas y las diferencias que se presentan entre ellos. Ambos métodos de cálculo se utilizaron para el diseño estructural de los elementos principales de una estructura real tomando en cuenta todas las solicitaciones que la afectan.

A modo de introducción al cálculo se estudió la problemática de calidad de madera, lo cual se abordó tomando una pequeña muestra de algunas Pymes Valdivianas, obteniendo así la calidad estructural mecánica que se contó en el mercado local para este estudio.

SUMMARY

This research presents the implementation and comparison of the method LRFD versus method ASD, determining the advantages and differences between them. Both methods are used for structural design of the main elements of a real structure taking into account all the stresses that affect it.

A mode of introduction to calculation was study the problematic of wood quality; the approach was taking a small sample from some Valdivian Pymes, obtaining the mechanical structural quality present in the local market.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La madera es un material noble, que con el paso de los años ha perdido su valor como material en la construcción por lo cual ha tenido una menor demanda en nuestro país. En este momento debido a varios factores medioambientales y económicos se está promoviendo estratégicamente su uso, para que en el futuro se extienda e innove tanto en estructuras livianas y de mayor tamaño, desarrollar una mayor cantidad de estructuras de madera maciza y productos de madera de ingeniería para la construcción, además de aumentar sistemas de construcción híbridos con su incorporación.

En Chile se usa la norma NCh 1198 Of. 2006 de madera basada en el método de tensiones admisibles (ASD) la cual trabaja con un porcentaje apropiado de su capacidad total, pero sabemos que la condición de trabajo por tensiones admisibles tiene mucho de especulación teórica. Ahora en algunos países como Brasil, Nueva Zelanda, países Europeos y EEUU han optado por el método a la rotura LRFD donde su objetivo principal es proveer una confiabilidad uniforme a las estructuras bajo varias consideraciones de carga. Este método permite hacer un análisis más ajustado de la realidad de la estructura, además considera hechos estadísticamente relevantes como por ejemplo que las acciones sean aleatorias.

La madera como material estructural presenta varios problemas que no enfrentan ni el acero ni el hormigón, una de las principales razones de esto se debe a que es un material heterogéneo. Las propiedades físico-mecánicas que posee una especie pueden variar debido a una serie de factores entre los cuales se destacan: sitio, condiciones de crecimiento, edad, altura, deterioro por agentes bióticos y abióticos. Por lo anterior las características de la madera varían dentro de una misma especie e incluso entre individuos de la misma especie.

Sumado a lo anterior, no existe un mercado de madera aserrada donde la clasificación de esta se practique en función de la normativa. Esto es más patente en las Pymes proveedoras de madera donde no se practica la gestión en calidad de madera. A modo de tener una aproximación del peso relativo del factor clasificación, se uso en esta tesis una pequeña muestra de la madera producida por dos Pymes valdivianas para obtener la calidad estructural que entregan y su efecto al ser llevada al posterior calculo.

1.1.- Planteamiento del problema

Hoy en día en Chile la mayoría de las edificaciones se construyen usando materiales no renovables. Esto resulta paradojal en un país como el nuestro que posee un sector forestal desarrollado, y una región como la de los Ríos donde abundan las plantaciones industriales de *Pinus radiata*. Sin embargo, no se construye con este abundante material, renovable y sustentable que presenta muchas ventajas en lo económico debido a su menor costo y estructural por su buena resistencia, bajo peso y excelente comportamiento sísmico.

En nuestro país se ha utilizado por mucho tiempo el actual método de cálculo ASD el que se basa en tensiones admisibles. Pero el método de cálculo LRFD, presenta ventajas ya que se acerca a la realidad del material en servicio, esto se hace más interesante en un material heterogéneo como la madera y en una realidad nacional donde la clasificación de ella no es practicada por todos los actores.

En relación a la clasificación de madera para uso estructural se presenta la problemática que aun existiendo normativa hay un desconocimiento por parte de los proveedores del material como también de los profesionales que especifican y calculan con este material.

Así con lo dicho anteriormente este trabajo abordará la problemática del cálculo estructural por los métodos ASD y LRFD considerando la calidad de madera aserrada puesta a disposición por pequeños aserraderos en la ciudad de Valdivia.

1.2.- Revisión del estado del arte

Al revisar algunos datos según la INE, sólo el 19% de los muros construidos en chile son de este noble material lo cual es un porcentaje muy pobre comparado con Canadá >95%, Estados Unidos 90-95%, Finlandia 75%-85% y Nueva Zelanda 60-75% (González, 2012). Esto demuestra que a pesar de nuestras grandes riquezas forestales no hay suficientes estudios que ayuden a promocionar e incentivar el mayor uso estructural de la madera.

Como en la segunda mitad del siglo pasado se comienza a desarrollar el concepto de madera estructural en Chile. La investigación, extensión y divulgación fue desarrollado por INFOR, el desarrollo experimental fueron realizados en el IDIEM de la Universidad de Chile. Por lo que ya en 1972 se oficializaron tres normas relacionadas con la clasificación de la madera: NCh 992: define las características físicas que debe tener la madera para su clasificación; NCh 993: estable los procedimientos y criterios de evaluación para aplicar una clasificación; NCh 970 que define los métodos para obtener las tensiones básicas de diferentes especies madereras en bases a ensayos de probetas inmaculadas. Por lo que vemos se dispuso de herramientas para desarrollar el mercado de madera estructural, pero esto no fue suficiente, ya que el mercado nacional no se preocupó ni se dio por avisado de estos antecedentes y las construcciones en maderas se siguieron solucionando a criterio del carpintero o del constructor y del arquitecto. Para ello entonces la madera era considerada un material de segundo orden en la construcción por lo que no ameritaba cálculo. Hasta que en 1977 el INFOR oficializa la primera norma de cálculo de estructura en madera NCh 1198 Of. 77, pero nunca pudo implementarse en la práctica puesto que no motivo a la industria maderera ni al sector construcción. Esto cambió cuando se empezó a introducir el *Pinus radiata* en la madera aserrada, entonces una parte del sector maderero nacional se tecnificó e industrializó, las empresas exportadoras empezaron a ver que el mercado internacional era más estable y mejor pagado que los nacionales. Debido a las exigencias del mercado internacional se tuvo que innovar los estudios ya realizados, por lo que se consiguió definir grados estructurales para la madera aserrada de *Pinus radiata* los que se oficializan en la norma NCh 1207 of 90, se hizo una caracterización de las propiedades mecánicas admisibles a aquellos grados en la NCh 1198 of 91, por lo que se constató que el *Pinus radiata* adecuadamente clasificado es competitivo en el mercado internacional. La normativa se siguió innovando, se introdujeron grados de clasificación mecánica al *Pinus radiata* C16 y C24, se hizo una nueva redacción de la norma de cálculo en madera NCh 1198 of 2007. Actualmente el concepto de madera estructural sólo se puede aplicar al Pinus radiata, observamos que la barraca tradicional

desconoce totalmente el concepto y que la construcción en madera amerita en la mayoría de los casos el uso de madera estructural (Wagner, 2009).

Profundizando en la madera estructural, es de importancia definir la forma o método de cálculo a aplicar en una estructura, que como sabemos hace bastante tiempo se adoptó la norma ASTM que usaba el método de tensiones admisibles y se configuró según los antecedentes recopilados para transformarse en la norma chilena NCh 1198. La última actualización de nuestra norma se distinguen ciertos cambios: se hizo una simplificación del método de cálculo, hay nuevos valores de resistencia mecánica de Pinus radiata, se han hecho cambios en los factores de modificación para el diseño de piezas y además hay cambios en la verificación de tensiones para el diseño de uniones. Pero pese a todos estos cambios y otros, no se ha hecho una investigación previa sobre otro método de diseño.

Ahora la norma ASTM D5457-93, "Especificación Normalizada para el Cálculo de la Resistencia de Referencia de los Materiales a base de Madera y Conexiones Estructurales para el Diseño por Factores de Carga y Resistencia", se desarrolló para adoptar el método LRFD donde su objetivo principal es presentar métodos y procedimientos unificados para calcular los valores de resistencia. La norma propone dos métodos para calcular la resistencia: uno que es mediante datos obtenidos directamente y el otro a través de la conversión de las tensiones admisibles aprobadas mediante factores.

Mundialmente en el campo de diseño estructural de madera tanto el método de diseño por factores de carga y resistencia “LRFD” como el método por tensiones admisible “ASD” son aceptados, pero en las últimas décadas se ha visto que hay una mayor inclinación por el uso del método LRFD es así como: en Norte-América se ha puesto en práctica el método LRFD según la normativa ASCE 1995 para el diseño de madera, en Brasil (ABNT 1996), Nueva Zelanda (LSD) y parte de Europa (Eurocódigo 5) los cuales han implementado el método según sus requerimientos (Escala, Thomson, & Contreras, 2001)

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Generales

❖ Comparación de los métodos de cálculo LRFD y ASD para estructuras de madera, considerando la calidad de madera presente en la ciudad de Valdivia.

1.3.2.- Específicos

❖ Investigar cómo influyen las características de la madera en sus propiedades mecánicas.

❖ Determinar la densidad, MOE y la carga máxima de ruptura de una muestra de piezas comerciales de madera por flexión simple según norma Chilena.

❖ Evaluar el grado mecánico de la madera aserrada que es vendida por Pymes de la ciudad de Valdivia.

❖ Aplicar los métodos de cálculo LRFD y ASD a los elementos estructurales principales de un proyecto habitacional.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

La madera es un material de construcción usado de antaño por sus excelentes propiedades mecánicas como elemento estructural en edificaciones de importancia y también por su gran valor estético que juega con la armonía del entorno.

En la economía de hoy se considera la influencia de una gran cantidad de factores, no sólo monetarios, entre los que cabe destacar la calidad medioambiental, la calidad de vida de las personas, el coste energético, entre otros, de manera que el balance final no se obtiene sólo mediante un coste monetario directo. Es así como el aprovechamiento racional y sostenible de la madera proporciona muchos beneficios sociales y medioambientales mientras que la producción de cualquier otro material no sólo los proporciona sino que los consume (Herrero, 2003).

Entre las muchas virtudes que posee la madera a continuación se mencionan algunas de ellas: es un material natural-renovable-ecológico, los productos en base a madera necesitan menos energía tanto para ser elaborados como para ser transformados, impulsa la gestión sostenible de bosques, reduce las fuentes de emisión de CO_2 y también lo inmoviliza, es un material eficaz energéticamente, es un producto reciclable, se puede programar de tal manera la producción que se puede aumentar el rendimiento y disminuir la cantidad de desechos, su razón peso/resistencia es muy ventajosa al ser comparada con el hormigón y el acero. En la figura 2.1 se puede ver como la madera en distintos ámbitos se ve más ventajosa como material de construcción.

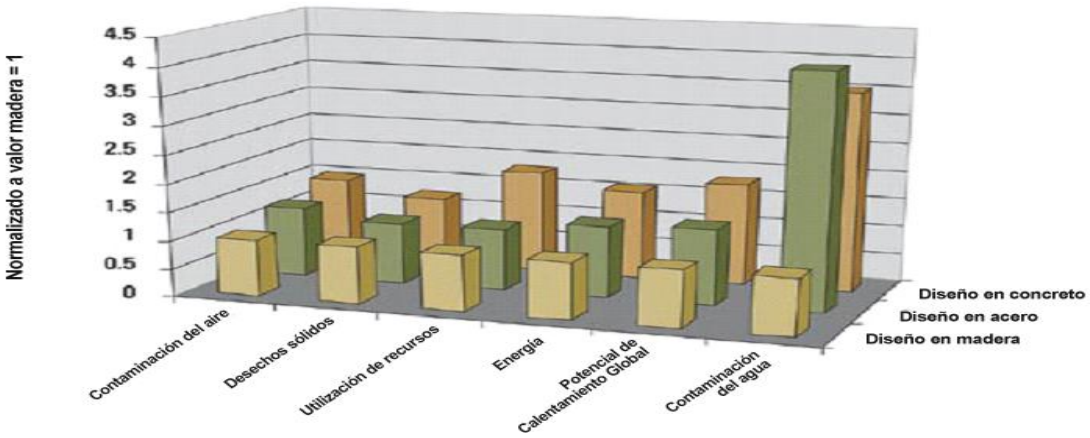


Figura 2.1 Comparación de la madera con otros materiales en diferentes ámbitos, según (Denis, 2009)

2.1.- Calidad de madera – definición y significancia

Calidad de madera significa diferentes cosas para diferentes personas. Mientras los forestales piensan en el tamaño y en la forma de los arboles, los manufacturadores (aserraderos–barracas) buscan trozas libres de nudos, derechas y largas, en cambio los consumidores asocian la calidad de madera con otros atributos. La industria constructora por ejemplo está interesada en la resistencia, rigidez y estabilidad dimensional (Kliger et al., 1994). Existen muchas referencias sobre calidad de madera, en muchos casos como sinónimo de densidad de la madera.

Una definición común de calidad de madera y un mejor entendimiento de su impacto en la manufactura de madera y en la satisfacción de los consumidores facilitaría la comunicación entres las partes involucradas.

Según Zhang (2011), calidad de madera puede ser definida como todas aquellas características de la madera que afectan la recuperación en la cadena de valor y la habilidad en servicio de los productos finales.

2.1.1.- Atributos de calidad en la madera y la recuperación en la cadena de valor

Según Johansson et al. (1990), cada producto tiene un set único de requerimientos. Los atributos de calidad de madera afectan la manufactura y el valor del producto en casi todos los niveles de la cadena, por ejemplo, el tamaño de las trozas es el más importante atributo que afecta los costos de madereo, el transporte será más costoso cuando aumenta la densidad y el contenido de humedad, periodos extensos causan daños por biodegradación, la conversión de madera aserrada se ve afecta por deformaciones y defectos en las trozas, contenido de corteza, diámetro de las trozas, largos de las trozas y finalmente la clasificación de la madera determina no solo el valor de ella si no sus posibles usos finales.

La clasificación de la madera puede ser llevada a cabo por métodos visuales o por métodos mecánicos destructivos o no destructivos, asignando de esta forma diferentes categorías a la madera.

2.1.2.- Atributos de la calidad en la madera y su impacto en su utilización

La habilidad en servicio que posea la madera depende del uso final. Para aplicaciones estructurales, su resistencia, rigidez, estabilidad dimensional y durabilidad, son importantes consideraciones para los consumidores. Para los manufacturadores de muebles otras características (maquinado, estabilidad dimensional, apariencia) se vuelven importantes. Estos importantes atributos de calidad para los consumidores y manufacturadores son determinadas, en diversos grados por las características básicas de la madera (Zhang, 2011).

Según Zhang (2011), en los productos de madera las siguientes características son consideradas importantes atributos de calidad de madera:

- Los nudos reducen las propiedad mecánicas de la madera y es una de las más comunes causas que afectan la graduación visual, los nudos también afectan el maquinado causando perdida es la graduación visual de la madera.

- La madera de reacción posee propiedades inferiores causando problemas de calidad.

- El stress de crecimiento puede causar defectos en arboles en pie o trozas caídas lo que reduce la calidad y el rendimiento.

- La desviación del grano puede reducir la resistencia y provocar pandeo en la madera.

- La madera juvenil es usualmente asociada a una pobre estabilidad dimensional, y a una reducción de la resistencia y rigidez.

- La relación duramen-albura afecta diferentemente en el uso final. El duramen es usualmente más durable, pero este tiende a ser menos permeable y más difícil de secar, tratar y pintar.

- Características anatómicas, las características básicas determinan las propiedades físicas y mecánicas de la madera. La rigidez y la contracción están estrechamente relacionadas con el ángulo microfibrilar. La densidad y la permeabilidad están relacionadas con las características anatómicas.

- La composición química está directamente relacionada con las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

- Las características de los anillos anuales está relacionada con las propiedades de estética, superficie y maquinado.

- El contenido de humedad afecta muchas operaciones a través de la recuperación de valor.

- La densidad es considerada el más importante atributo de calidad de la madera. La densidad determina la capacidad de una especie para un uso específico. Madera de alta densidad es usualmente asociada a altos valores de resistencia y rigidez.

- La estabilidad dimensional influye en la eficiencia de las construcciones y habilidad de la estructura en servicio.

- Las propiedades mecánicas de la madera son importantes atributos de calidad para la industria de la construcción.

- La durabilidad natural es crítica para aplicaciones en exterior y construcción en madera.

- Resistencia al fuego, características de acabado, características estéticas, acústicas, termales, eléctricas y otras propiedades son importantes para especificar usos finales.

2.1.3.- Participación de *Pinus radiata* en las plantaciones industriales

2.1.3.1.- Especies forestales

Las especies forestales se dividen en dos grupos:

- Coníferas: se distingue debido a que sus frutos son estructuras en formas de conos y sus hojas generalmente son alargadas en forma de agujas (Corma, 2003).

Las especies pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice y revestido de ramas (Fritz, 2012).

- Latifoliadas: sus frutos tienen formas más variadas (nueces, bayas, etc.), sus hojas son mayormente anchas y las pierden en forma estacional (Corma, 2003).

Generalmente los arboles que pertenecen a esta especie tienen una copa ramificada y un tronco que varía en sus dimensiones (Fritz, 2012).

2.1.3.2.- Pino Insigne (*Pinus radiata*)

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 de climas y suelos (Galaz, 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, 1983).

En chile se destaca la industria forestal, tenemos una extensión de bosques de 15,6 millones de hectáreas la que corresponde al 21% total de nuestro territorio, de la totalidad del recurso forestal un 9% corresponde a '*Pinus radiata'* (Corma, 2000). En el siguiente grafico 2.2 denota la distribución boscosa presente en nuestro país.

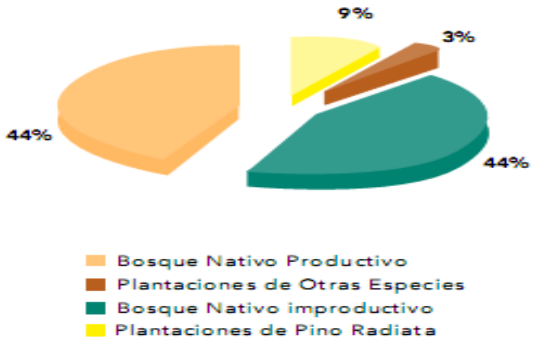


Figura 2.2 Distribución de la superficie boscosa en Chile, según (Corma, 2000)

Nuestro país tiene una producción maderera de 21,5 millones de metros cúbicos en trozas, el *Pinus radiata* es la principal especie utilizada con un 77% del porcentaje total de la producción, lo cual se representa en el grafico 2.3:

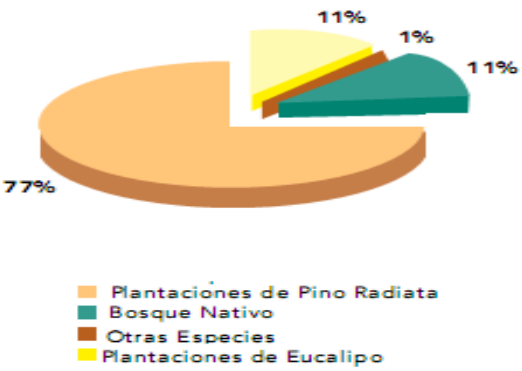


Figura 2.3 Distribución de la producción maderera en trozas en Chile, según (Corma, 2000)

Actualmente se usa mucho para la producción de elementos laminados encolados, los cuales tienen muy buenas propiedades mecánicas y pasan a remplazar elementos estructurales de hormigón y/o acero. Generalmente se usa en construcciones de viviendas como: revestimiento exterior o interior, cerchas, paneles, pisos, cielos, etc. También es usado en la producción de tableros de fibras y partículas, además en maderas contrachapadas (siempre que no existan nudos). Es muy utilizada en la industria de la celulosa, en la fabricación de moldajes para hormigones y en la fabricación de muebles (Corma, 2003).

2.1.4.- La naturaleza de la madera

2.1.4.1.- Anatomía de la madera

La madera es un producto natural de origen vegetal, que destaca por ser un material heterogéneo que posee una compleja estructura celular de aspecto tubiforme que difieren en las dimensiones y ordenación en el material leñoso (Díaz-vaz & Cuevas, 1986). De comportamiento elástico anisotrópico, lo cual quiere decir que las tensiones y las deformaciones que se producen son diferentes en las distintas direcciones.

A través de sus hojas los árboles absorben dióxido de carbono del aire y por medio de sus raíces toman agua y minerales del suelo. El agua y los minerales forman savia, la cual asciende hacia las hojas y en ellas, mediante la fotosíntesis, se combina con el dióxido de carbono para formar compuestos básicos de carbohidratos. Estos compuestos bajan por el cambium capa delgada bajo la corteza, desde donde proveen el alimento a las células o fibras del material leñoso (Corma, 2003).

Todas las células o fibras, de alguna forma u otra, componen un sistema y tejido que cumple la triple función de soportar los esfuerzos a los que se somete el árbol, de transportar sustancias y almacenar sustancias de reserva. Las funciones de soporte de las células dependen fundamentalmente de la composición y organización de las paredes celulares (Herrero, 2003).

2.1.4.2.- Estructura física de la madera

Estructura macroscópica: es aquella que se observa a ojo desnudo o con diez aumentos para su estudio, debido a su heterogeneidad se establecen tres ejes: longitudinal (paralelo a la fibra), radial (que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco) y tangencial (paralela a un eje tangente al tronco o al anillo de crecimiento), lo cual está representado en la siguiente figura 2.4:

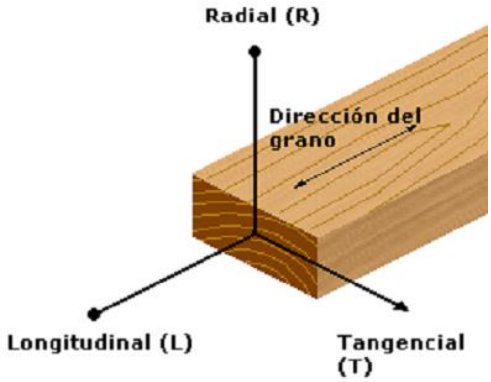


Figura 2.4 Planos de orientación de una pieza de madera, según (Fritz, 2012)

En la sección transversal que se observa en la figura 2.5 se distinguen las siguientes capas: corteza externa, corteza interna o líber, cambium, albura, duramen.

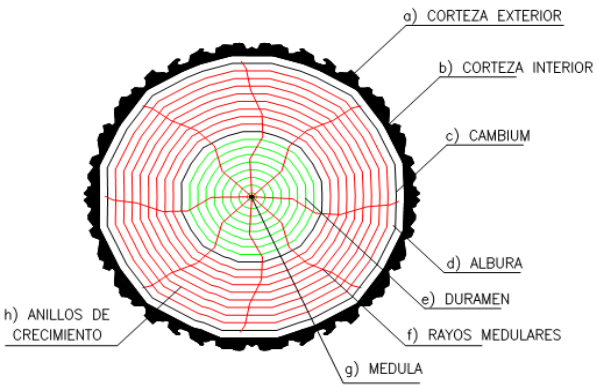


Figura 2.5 Capas de la sección transversal del tronco de un árbol, según (Corma, 2003)

Estructura microscópica: está formada por un haz de tubos de gran longitud orientados en la dirección longitudinal unidos por las paredes. La sustancia que hace el esqueleto básico de las células de los arboles es la celulosa, la cual se dispone según trenzados llamado microfibras, la celulosa en la microfibra está embebida en una matriz de hemicelulosa y envuelta en lignito (Edelstein, 2002). Las células de la madera y sus capas queda muy bien representas en la figura 2.6 y la figura 2.7:

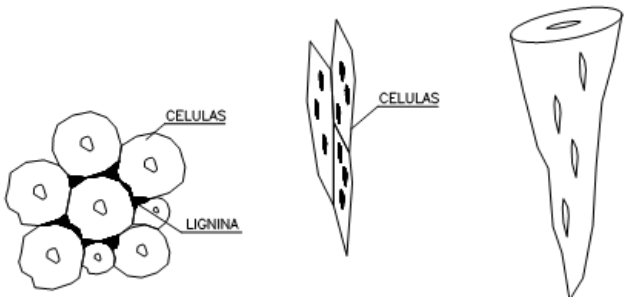


Figura 2.6 Células de la madera, según (Corma, 2000)

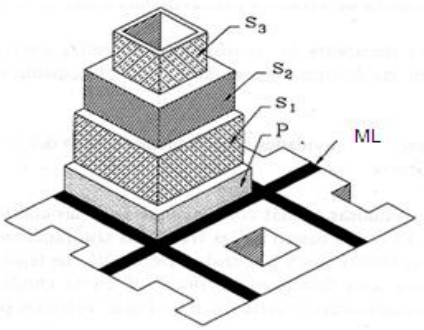


Figura 2.7 Células de la madera, según (Delgado Trujillo, 2007)

Entre las células individuales se tiene una capa llamada 'lamella media (ML)', que hace un efecto de pegamento entre las células y forma el tejido, es rica en lignito y azucares y virtualmente libre de celulosa (Edelstein, 2002).

Como vemos las células tienen varias capas S_1, S_2, S_3, que desde el punto de vista ingenieril la capa dominante es S2, orientada casi axialmente lo que la hace muy efectiva para tomar tracciones. En compresión estos paquetes de microfibra se convierten en columnas esbeltas, las cuales están prevenidas al pandeo gracias a las capas internas y externa S1 y S3 de microfibras que tienen pendiente suave. Se reconoce que el ángulo de la microfibrilla de la capa S2 es una de las principales variables que determinan las características mecánicas de la madera, a medida que el ángulo microfibrilar aumenta, el módulo de elasticidad disminuye (Edelstein, 2002).

2.1.4.3.- Anillos de crecimiento

Cada anillo representa el crecimiento del árbol en un año. Los anillos se componen por una zona más clara y otra más oscura, registran el crecimiento estacional y permite en muchas especies determinar la edad mediante su recuento (Corma, 2003).

Los anillos que rodean el tronco, aquellos generados durante los primeros años de vida del árbol, suele ser de muy mala calidad estructural porque su función inicial era casi exclusivamente para iniciar rápidamente el desarrollo del árbol. Como consecuencia se obtienen células muy blandas y poco resistentes, dando lugar a la llamada madera juvenil. La medula es la madera formada en el primer anillo de crecimiento, también de mala calidad (Herrero, 2003).

Cuando los arboles crecen en un clima variable, es posible distinguir un anillo de crecimiento de otro, porque las células que se forman en la estación fría son diferente de las que se forman en la estación cálida, originándose así 'madera de primavera' y 'madera de verano'. Cada anillo anual se divide en dos capas: la interior (llamada de primavera), se desarrolla durante la primera parte de la estación del crecimiento, se compone de células grandes, pared delgada y es generalmente más clara que la madera de verano. La capa exterior (llamada de verano) consiste en células más pequeñas, con paredes más gruesas y es la parte oscura del anillo anual, es más pesada, más fuerte que la madera de primavera y tiene un efecto importante en determinar las propiedades de resistencia de la mayoría de las especies (Corma, 2003). En la figura 2.8 se diferencia la madera de primavera de la madera de verano:

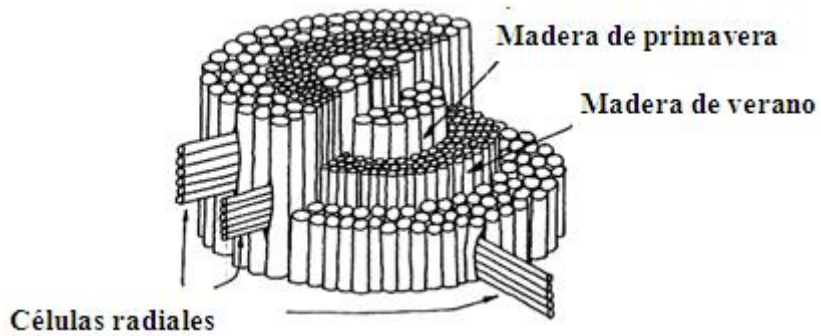


Figura 2.8 Estructura celular de la madera, según (Corma, 2003)

2.1.4.4.- Albura y duramen

La albura es una zona de tejidos vivos, se ubica debajo del cambium y sirve para el movimiento ascendente de la savia. En cambio el duramen está constituido por tejido muerto, el proceso de depositacion de estas sustancias muertas se llama ‘duraminizacion’. No tienen diferencias significativas en las propiedades mecánicas de la albura y el duramen, ademas si son extraidas de las mismas zonas del arbol tienen un peso específico similar. El duramen tiene mayor resitencia al ataque de hongos e insectos debido a la presencia de depositos de materias toxicas, por lo general el duramen es una zona mas oscura pero no siempre se logra diferenciar esto (Corma, 2003). En la 2.9 observamos la albura y duramen en una sección transveral de una troza:

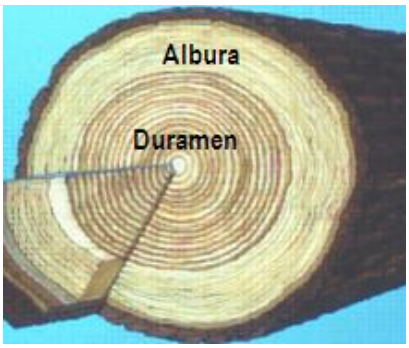


Figura 2.9 Albura y duramen, según (Fritz, 2012)

El cambio de albura a duramen es un proceso normal que sucede en todos los arboles, una vez que estos alcanzan cierta edad o logran un cierto diametro. La duraminizacion ocurre tanto en el fuste como en las ramas, tambien las raíces pero sólo a aquellas de mayor diametro y cercanas al fuste. Debido a este proceso se producen una serie de modificaciones: aumenta la durabilidad natural, hay reducción de la permeabilidad, cambios de color, importantes diferencias del contenido de humedad entre la albura y el duramen (en el caso de coníferas), se originan modificaciones en la accesibilidad de gases y líquidos (en las coníferas), reducción del ancho de la albura. Las modificaciones antes mencionadas son relevantes pues afectan a los procesos industriales tales como: preservación, secado, trabajabilidad, encolado, entre otros (Diaz-vaz, 2003).

2.1.4.5.- Madera juvenil

Es aquella madera formada en los primeros años. En las partes mas bajas del árbol la madera juvenil corresponde al cilindro central y a medida que observamos las zonas mas altas el porcentaje de madera juvenil aumenta hasta llegar al 100%. Respecto a la edad del arbol, mientras más joven mayor es la proporcion de madera juvenil, esto se debe tener en cuenta en las cosechas de arboles de rapido crecimiento en donde hay un alto porcentaje de madera juvenil (Diaz-vaz, 2003).

Diferencias entre madera juvenil y madura en coniferas: menor largo de las fibras, anillos mas anchos, madera tardía atípica, mayor proporcion de madera intermedia, menor densidad, menores resistencias mecánicas, mayor contenido de humedad, mas hemicelulosas y lignina, mayor ángulo fibrilar en la S2, mayores cambios dimensionales longitudinales, mayor posibilidad de tener grano revirado, mayor posibilidad de tener madera de reaccion, mayor proporcion de nudos, mayor proporcion de duramen (Diaz-vaz, 2003).

En la figura 2.10 logramos diferenciar la madera juvenil de la adulta y la albura del duramen:

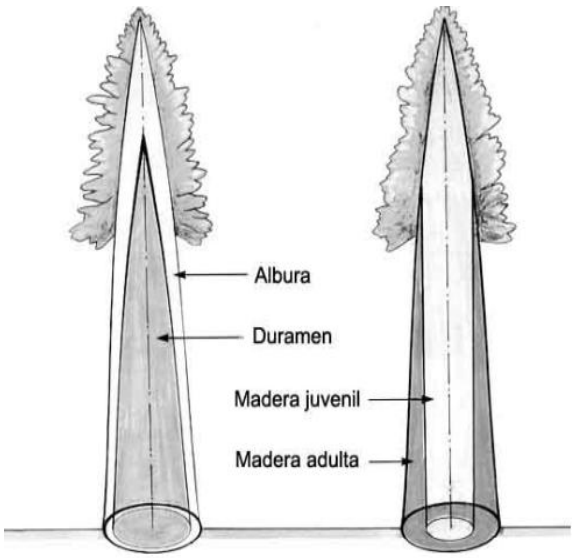


Figura 2.10 Representación de la madera juvenil y la madera adulta, según (Ananías, 2004)

El módulo de elásticidad de madera aserrada que contiene 100% madera juvenil puede ser de un 50% a un 60% inferior a la madera aserrada que no la contiene. La resistencia maxima a tracción paralela como a cizalle y a comprensión perpendicular a la fibra, disminuyen igualemente con una proporcion creciente de madera juvenil (Ananías, 2004).

2.1.4.6.- Madera de reacción

Es aquella madera cuyo crecimiento se ha producido bajo la acción de tensiones mecánicas. Este desarrollo puede hacerse bajo la acción de una fuerza de tracción y la madera se conoce como ‘madera de tracción o bajo la acción de una fuerza de compresión y se llama ‘madera de compresión’. La madera de tracción se produce generalmente en las frondosas y la de compresión en las coníferas. Como característica común a ellas se encuentra el crecimiento excéntrico (García, Guindeo, Peraza, & de Palacios, 2003).

La madera de reacción se produce en: arboles en laderas de grandes pendientes, arboles sometidos a vientos permanentes o variables, en las ramas y maderas de especies de rápido crecimiento (García, Guindeo, Peraza, & de Palacios, 2003).

La madera de compresión es madera muy frágil, además los valores de su peso específico, módulo de elasticidad y tracción son menores a los que les corresponderían, las alteraciones sufridas en sus propiedades físico-mecánicas, se considera como grave defecto, especialmente para madera de construcción, ya que sometida a esfuerzos de flexión los anillos tienden a separarse en capas. La madera de tracción también tiene propiedades físico-mecánicas diferentes a la madera normal, donde el peso específico y la contracción longitudinal son superiores, además sus propiedades mecánicas son irregulares pero con tendencia a ser menores (García, Guindeo, Peraza, & de Palacios, 2003).

2.1.5.- Composición química de la madera

La madera está constituída principalmente por celulosa correspondiente al 40% - 45% de su pared celular, tambien de hemicelulosas o poliosas entre 20% - 30% de su pared celular, la lignina entre un 20% - 30% de su pared celular, y por último se agregan una serie de compuestos accesorios (extraibles) cuya proporción está en un 1% - 10% .

- Celulosa: constituye el esqueleto de la pared celular siendo su principal componente. La celulosa es el resultado de la combinación de agua y dióxido de carbono que en presencia de luz solar forman glucosa, unidad básica de la celulosa (Diaz-vaz, 2003).

- Hemicelulosas: son compuestos de facil solubilidad y termodegradación, tienen mayor higroscopicidad que la celulosa y se encuentran intimamente ligados a la lignina y a la parte paracristalina de las microfibrillas (Diaz-vaz, 2003).

- Lignina: es el compuesto cementante de la pared celular que le otorga rigidez y características de leño a la madera. Es un polímero heterogeneo tridimensional, formado por unidades de fenil propano, es muy dificil de extraer de la madera. Es el más resistente a la degradacion termica, el más resistene a los solventes quimicos, también resistente los ataques biodegradadores y es de menor higroscopicidad (Diaz-vaz, 2003).

El comportamiento viscoelastico de la madera es debido a la particular conformación de la pared celular de las fibras, esto es, en base a cordones de microfibrillas de celulosa, que constituyen un esqueleto de gran resistencia, el cual queda envuelto basicamente por lignina y hemicelulosa que funcionan como matriz. Esta matriz tiene las caracteristicas de un material cuyo estado es entre solido y liquido, con un alto contenido de humedad y con gran capacidad de deformacion plástica (Ananías, 2004).

Cuando una fuerza actúa sobre la madera, las microfibrillas de celulosa se deforman elásticamente, produciendo una deformación instantánea en las fibras y tejidos de la madera, debido a la rigidez propia de las microfibrillas. Si la fuerza permanece en el tiempo, los componentes de la matriz de hemicelulosa y lignina son forzados a fluir en forma continua, hasta alcanzar un estado en que la deformación de las microfibrillas de celulosa sobrepasan la resistencia de la matriz de hemicelulosa y lignina por fluencia, produciendo un efecto de flujo plástico. Luego al retirar la fuerza externa, toda la energía elástica almacenada en las microfibrillas de celulosa es liberada y tiende a devolver a las microfibrillas de celulosa a su posición original. Existe una fracción del total de la energía viscoelástica que no es recuperable, debido a que el movimiento de los componentes viscosos de la matriz de hemicelulosa y lignina está asociado a una pequeña pérdida de energía en forma de calor. Por lo tanto la configuración inicial de las microfibrillas de celulosa y de la matriz de hemicelulosa y lignina no es totalmente restablecida y se produce como resultado una deformación permanente en la madera (flujo plástico irrecuperable). En adición, tanto el contenido de humedad como la temperatura, tienden a plastificar los componentes de la matriz de hemicelulosa y lignina y a reducir su viscosidad, lo que hace disminuir las fuerzas de fricción entre las microfibrillas de celulosa y la matriz de hemicelulosa y lignina, favoreciendo la velocidad de deformación (Ananías, 2004).

2.1.6.- Propiedades físicas de la madera

2.1.6.1.- Contenido de humedad

La madera es un material que absorbe o entrega agua, el contenido de humedad es variable debido a que depende de la temperatura y humedad relativa que existe en su entorno (Galaz, 1983).

Se define como 'PSF' (punto de saturación de la fibra) al contenido de humedad sobre el 28% y como 'estado anhidro' al 0% de contenido de humedad en la madera. Al disminuir el contenido de humedad bajo el PSF aumentamos la resistencia mecánica, si disminuimos en un 1% el contenido de humedad se aumenta en promedio la resistencia: a compresión un 5%, a flexión 4% y a tracción un 3% (Díaz-vaz & Cuevas, 1986).

El aumento de la resistencia mecánica se debe a que las fibras de la madera se vuelven más rigidas y fuertes por la disminucion de humedad, sobre el PSF no hay efectos. La relación contenido de humedad y resistencia se demuestra en la figura 2.11:

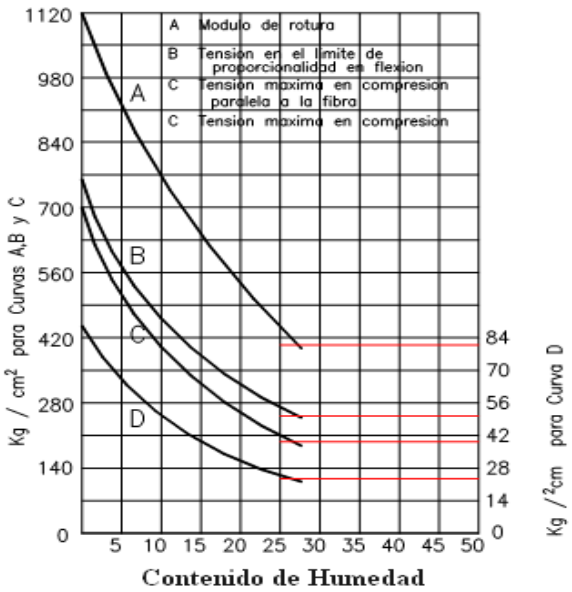


Figura 2.11 Relación entre el contenido de humedad y la resistencia, según (Corma, 2003)

La principal circunstancia que se debe tener en cuenta respecto al contenido de humedad en la madera estructural es que en general, cuanto mayor sea este contenido menor es la resistencia y mayores son las deformaciones que se producen por fluencia. Por otro lado, las variaciones de humedad en la madera también producen ciertas variaciones dimensionales (Herrero, 2003).

2.1.6.2.- Estabilidad dimensional

Las variaciones dimensionales de la madera se deben a la hinchazón y merma por variaciones en el contenido de humedad y tienen lugar principalmente en el tamaño de la sección (ancho-canto), siendo practicamente despreciable en su longitud. Cuando la madera se seca se produce una merma o reducción de las dimensiones, mientras que cuando la madera aumenta su contenido de humedad se produce lo contrario y se hincha o aumenta sus dimensiones (Herrero, 2003).

Esta circunstacia tiene su repercución inmediata en el diseño de algunos detalles constructivos, puesto que es necesario prever los inevitables movimientos dimensionales (Herrero, 2003).

La norma NCh 176/3 define la ‘contracción normal’, como la disminución de dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de la fibra, expresada como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde. También define el ‘colapso’, como la disminución irregular de dimensiones que sufre la madera de algunas especies al perder humedad en las primeras etapas de secado, sobre el punto de saturación de la fibra y que se caracteriza por el aplastamiento de las paredes celulares. La suma total de la contracción normal más el colapso, resulta la ‘contracción total’, la cual se representa en la figura 2.12 que relaciona el porcentaje de humedad con el porcentaje de contraccion.

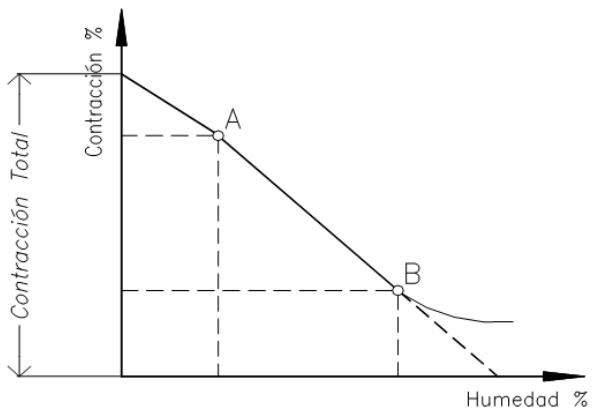


Figura 2.12 Curva de contracción, según (Corma, 2003)

La pendiente de la recta AB corresponde al coeficiente de contracción lineal ‘k’, este coeficiente se estima para un contenido de humedad comprendido entre el 5% - 20%.

Para la determinación de dimensiones que alcanza una pieza con un contenido de humedad bajo el 20%, en la figura 2.13 se define el coeficiente de contracción T(dirección tangencial) y R (dirección radial) para distintas especies:

ESPECIE	DIRECCION	COEFICIENTE CONTRACCIÓN LINEAL (k)
PINO RADIATA	T R	0,29 0,20
TEPA	T R	0,31 0,15
EUCALIPTO	T R	0,42 0,24
COIGUE	T R	0,30 0,15
ROBLE	T R	0,29 0,18
OLIVILLO	T R	0,30 0,15
ULMO	T R	0,35 0,22
TINEO	T R	0,36 0,18

Figura 2.13 Coeficiente de contracción lineal 'k', para una variación del 1% de humedad, según (Corma, 2003)

Para obtener la variación de dimensión de las especies madereras por contracción se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Dimensión H} = \text{Dimensión 20} \times \left(1 - \frac{k \times \Delta H}{100}\right) \text{mm}$$

H: contenido de humedad (0%-20%).

k: coeficiente de contracción lineal.

ΔH: diferencia entre humedad del 20% y H.

2.1.6.3.- Higroscopicidad

Se refiere al fenómeno donde la madera y la atmósfera que la rodea se encuentra en constante intercambio de humedad. La madera puede perder agua por evaporacióncuando la temperatura es alta o cuando la humedad relativa del aire es baja o bien porque la madera se encuentra muy húmeda (Herrero, 2003).

Una madera húmeda o verde que se expone al aire empieza por perder agua libre, cuando ha perdido toda el agua libre empezará a perder una cierta cantidad de agua ligada, si las

condiciones ambientales son estables llega un momento en que la humedad alcanza el equilibrio. Al contenido de humedad en ese punto se le conoce como contenido de humedad de equilibrio higroscópico. Según las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire la madera adquiere su equilibrio con un determinado contenido de humedad (Herrero, 2003).

Cuando el secado de la madera se realiza al aire, sin forzar las condiciones ambientales, se pueden alcanzar contenidos de humedad del orden del 12% - 16% dependiendo de las condiciones climáticas. Para conseguir contenidos menores de humedad es necesario el secado artificial (Herrero, 2003).

2.1.6.4.- Densidad

La densidad está directamente relacionada con la resistencia mecánica lo que se observa en la figura 2.14, aquellas especies con densidad alta implica resistencia alta por lo tanto aquellas con baja resistencia resulta lo contrario (Díaz-vaz & Cuevas, 1986).

La densidad depende mucho de la cantidad de tejido maderero y del grosor de las paredes celulares que posea el árbol, por lo que se da que a un mismo contenido de humedad la densidad puede variar en una especie, esto puede deberse a la calidad de suelo, al clima, etc. (Galaz, 1983).

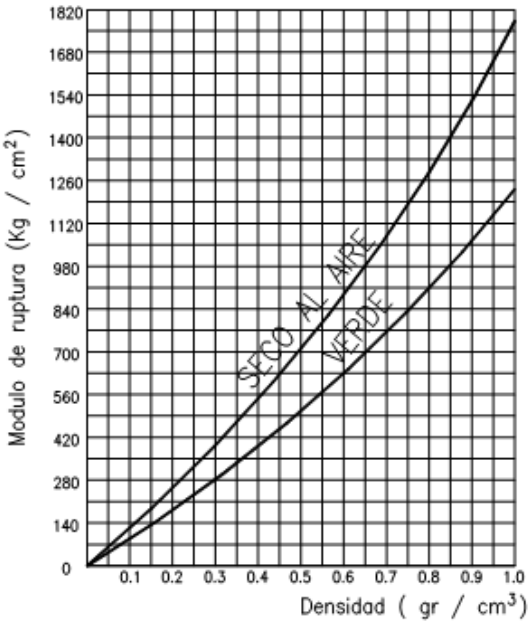


Figura 2.14 Relación entre la densidad y la resistencia, según (Corma, 2003)

2.1.7.- Propiedades mecánicas

2.1.7.1.- Propiedades elásticas de la madera

La madera sometida a cargas tiene un comportamiento denominado visco-elástico. Ante una cierta carga inferior al límite elástico se deforma, perdiendo la deformación cuando cesa la carga, pero si se mantiene la carga durante bastante tiempo, la deformación inicial se va incrementando tomando valores que pueden llegar a ser superiores al doble del valor inicial. También funciona como material plástico al incrementarse la deformación por la acción del tiempo (Vignote & Martinez, 2006).

La teoría de las propiedades elásticas de la madera se explica bajo el concepto del material como madera ideal, y está basado en las siguientes hipótesis: es un material elástico lineal, macroscópicamente homogéneo, con propiedades de medio continuo y con simetrías materiales y elásticas de carácter ortotrópico (Maldonado, 2010).

El comportamiento elástico de la madera se ve afectado por las siguientes variables: la densidad, el contenido de humedad, la temperatura y la velocidad de solicitación. Por lo que se puede analizar como material: mecano-elástico, higro-elástico, termo-elástico y visco-elástico.

La madera como material ortotrópico posee: tres módulos de corte, tres módulos elasticidad y seis módulos de Poissón; según sus respectivos ejes, estas características son las que determinan la elasticidad de la madera:

- Módulo de elasticidad: este se puede obtener según una curva de esfuerzo v/s deformación en el ensayo de compresión paralela pero también según el ensayo a flexión, según datos obtenidos en maderas tropicales el módulo de elasticidad en compresión paralela es mayor que el obtenido a flexión estática, pero al diseñar se opta por considera el MOE de flexión por ser las deflexiones en flexión criterio básico en el dimensionamiento de piezas de madera.

- Módulo de corte o rigidez: relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen valores para cada una de las direcciones de la madera, siendo el principal el paralelo a la fibra.

- Módulo de Poissón: es la relación entre la deformación lateral y la deformación longitudinal. Hay seis módulos relacionados a los ejes longitudinales, radiales y tangenciales. En las coníferas sus valores están alrededor de 0,325 en densidades de 0,5gr/cm3.

2.1.7.2.- Compresión paralela a las fibras

Es la resistencia que presenta la madera a una carga que la comprime ya sea en dirección paralela o normal a las fibras, en la figura 2.15 se representa esta propiedad:

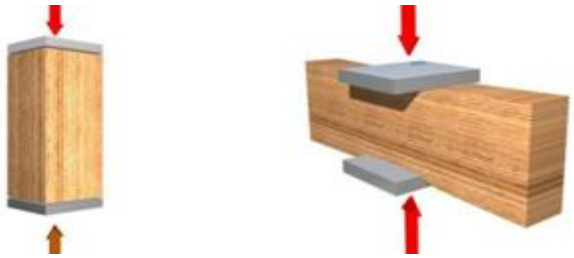


Figura 2.15 Esquema de ensayo de compresión paralela y normal a las fibras (de izquierda a derecha), según (Fritz, 2012).

2.1.7.3.- Flexión estática

Es la resistencia que presenta una pieza de madera a una carga aplicada en su longitud pero perpendicular a las fibras, lo cual se representa en la figura 2.16:

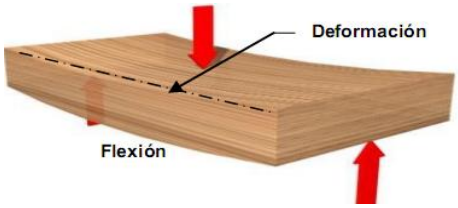


Figura 2.16 Esquema de ensayo de flexión estática, según (Fritz, 2012).

2.1.7.4.- Tenacidad

Es la capacidad que tiene la madera de absorber energía de forma instantánea luego de ser aplicada una carga, lo cual se representa en la figura 2.17:

Figura 2.17 Esquema de ensayo de tenacidad, según (Fritz, 2012).

2.1.7.5.- Cizalle

Es la capacidad que tiene una pieza madera para resistir fuerzas que causas deslizamiento, lo cual puede ser deslizamiento longitudinal, tangencial o radial, lo cual se representa en la figura 2.18:

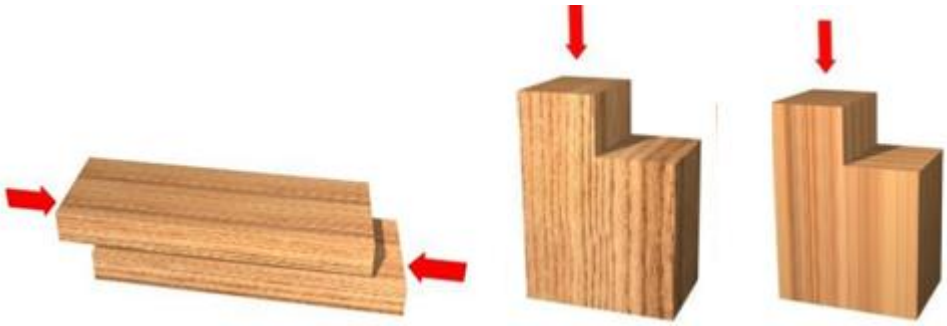


Figura 2.18 Esquema de ensayo de cizalle longitudinal-tangencial-radial (de izquierda a derecha), según (Fritz, 2012).

2.1.7.6.- Clivaje

Es la capacidad que tiene una pieza madera para resistir el rajamiento, lo cual puede ser tangencial o radial, lo cual se representa en la figura 2.19:

Figura 2.19 Esquema de ensayo de clivaje tangencial-radial (de izquierda a derecha), según (Fritz, 2012)

2.1.7.7.- Tracción

Es la capacidad que tiene una pieza madera para resistir tracciones, lo cual puede ser paralelo o normal a las fibras, lo cual se representa en la figura 2.20:

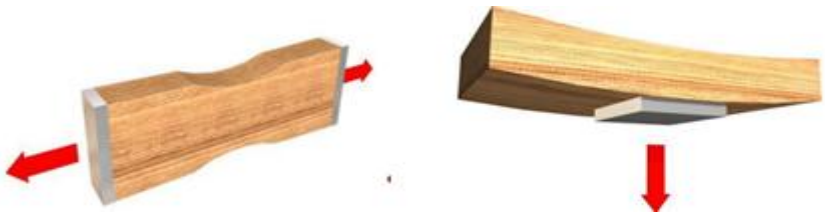


Figura 2.20 Esquema de ensayo de tracción paralelo-normal a las fibras (de izquierda a derecha), según (Fritz, 2012)

2.1.7.8.- Dureza

Es la resistencia que presenta la madera a la penetración, representado en la figura 2.21:

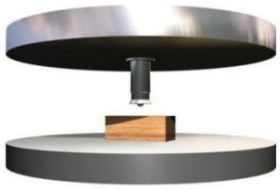


Figura 2.21 Esquema de ensayo de dureza, según (Fritz, 2012)

2.1.7.9.- Extracción de clavo

Se mide la resistencia que se debe aplicar para extraer un clavo, la cual se debe probar en una superficie paralela a la fibra y en una normal, lo cual se ve en la figura 2.22:

Figura 2.22 Esquema de ensayo de extracción de clavo, según (Fritz, 2012).

2.1.8.- Defectos presentes en la madera y su influencia en las propiedades mecánicas

Se deben a cualquier irregularidad física y/o química que afecta el aspecto y resistencia mecánica de la madera, los defectos que más se destacan son: nudos, grietas, rajaduras, granos o fibras desviada, pudrición, perforación, otros que afectan menormente: bolsillos de resina, acebolladura, alabeos, médula y canto muerto.

2.1.8.1.- Angulo de las fibras

El ángulo de la fibras se forma con la dirección de la carga, por lo que, para determinar las resistencias mecánicas se usan los ángulos paralelos y los perpendiculares, lo paralelos son aquellos donde la carga tiene la misma dirección de la fibra y los perpendiculares la carga se ejerce perpendicular a la fibra. Las resistencias son inversamente proporcionales al aumento del ángulo de la fibra, entonces las mayores resistencias se obtienen paralelas a la fibra (Díaz-vaz & Cuevas, 1986).

2.1.8.2.- Nudos

Es la porción de madera dura y compacta perteneciente a las ramas que quedaron incluidas en el tronco.

Los nudos producen una variacion en la estructura que está en su alrededor , tal como, la desviación en la direccion de la fibra, diferencias del peso específico entre madera y nudo lo que produce diferencias en la distribucion de tensiones y ademas se producen grietas y otros defectos, por lo tanto los nudos afectan las propiedades mecánicas de la madera (Díaz-vaz & Cuevas, 1986).

La diferencia más significativa de resistencia en presencia de nudos se da en la aplicación de tracciones, la cual disminuye drásticamente (Díaz-vaz & Cuevas, 1986).

2.1.8.3.- Presencia de médula

La presencia de médula en las piezas de madera le dan escasas propiedades de resistencia. Se ubica en la parte central del duramen, contiene la fibra neutra del árbol. Afecta la clasificación por aspecto debido a aquellas superficie que quedan a la vista y contienen médula (Fritz, 2012).

2.1.8.4.- Defectos del secado

Debido a las determinadas características de la madera y el proceso de secado, se pueden producir varios defectos, entre los cuales mencionamos:

- Grietas: las grietas en la madera son causadas por las tensiones que se establecen en ella, debido a la diferencia de contracciones que se producen entre las zonas externas e internas, entre madera normal y madera de reacción y entre los diferentes planos de una pieza, todo estos por lo general se debe a un secado demasiado rápido (Vásquez, 2005) .

En la figura 2.23 se observa grietas radiales en una pieza bajo efectos del secado:

Figura 2.23 Grietas debido al secado

- Alabeo: deformación que experimenta una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos. El alabeo de las piezas de madera durante el secado se debe a sus propiedades de contracción. Según el plano de deformación se distiguen distintos tipos de alabeo: acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura (Vásquez, 2005).

2.1.8.5.- Pudrición

La pudrición es una afección que sufre la madera debido a agentes bióticos que constribuyen a degradarla y por ende a que pierda sus características mecánicas.

En el caso de los hongos, estos se alimentan de la pared celular, causando una severa pérdida de resistencia, impidiendo cualquier aplicación ya que se puede desintegrar por la simple presión de los dedos (Fritz, 2012).

Hay diferentes tipos de prudriciones causadas por hongo;

- Pudrición blanca: el hongo se alimenta de la lignina por lo que la celulosa torna a un color blanco. Debido a esto la madera se rompe en fibras por lo cual tambien suele nombrarse como pudrición fibrosa.

- Pudrición parda: los hongos se alimentan de la celulosa por lo que la lignina destaca su color pardo. En esta tipo pudrición la madera se desgrana dejando cubos, por lo que suele llamarse pudrición cúbica.

Un ejemplo de pudrición en la madera se puede ver en la figura 2.24:

Figura 2.24 Pudrición de la madera por hongo, según (Fritz, 2012)

2.1.8.6.- Efectos de la temperatura

Generalmente los efectos de la temperatura hacen disminuir las resistencia mecánicas cuando se calienta y aumenta cuando se enfría. La relación entre la termperatura y la resistencia

mecánica es aproximadamente lineal, pero a humedad constante y a temperaturas inferiores a 150ºC (Corma, 2003).

Se diferencian dos efectos de temperatura sobre la resistencia y la elásticidad de la madera, los cuales son: ‘efectos temporales’ se dan a una temperatura particular y son independiente del período de exposición a una alta o baja temperatura y ‘efectos permanentes’ son aquellos que permanecen aun despues de que se haya sido llevada a una temperatura normal, dependen de la duración de exposición mas que del valor de temperatura (Galaz, 1983).

$T \leq 65ºC$ ya sean permanentes o temporal; no hay alteraciones en las resistencias.

$65ºC \leq T \leq 100ºC$ y son exposiciones ocacionales; tampoco hay alteraciones en resistencias.

$100ºC \leq T \leq 200ºC$ si es de una exposicion larga las resistencias se ven gravemente afectadas.

2.2.- Clasificación estructural

2.2.1.- Grado estructural según clasificación visual

Consiste en la observación directa de las singularidades que presenta la madera, entre las singularidades que más influyen en la pérdida de calidad se destacan: presencia de nudos, desviación de la fibra, deformaciones y ataques biológicos (Carballo, Hermoso, & Díez, 2009).

En chile el proceso de clasificación visual de madera aserrada de Pinus radiata se encuentra regulado en la norma NCh 1207 of 2002, documento que define tres grados: GS, G1 y G2, específicando las características y defectos de la madera que se deben controlar y cuales son las restricciones en cada uno de los tres grados (Arauco, 2005). Donde GS se atribuye a piezas de gran capacidad resistente, G1 comprende piezas que se usarán para sistema constructivos normales y G2 agrupa piezas de baja capacidad resistente.

A continuación se mostrará en la tabla 2.1 los límites de los defectos que se pueden aceptar para cada grado visual, definido en la norma NCh 1207:

Tabla 2.1 Límites admisibles para los grados estructurales visuales, según (Norma NCh 1207 of 1990)

Defectos		**Grados**					
		GS		**G1**		**G2**	
Nudos		Sin Cb	Con Cb	Sin Cb	Con Cb	h ≤15 cm	h >15 cm
RANT RANB RANI		≤ 0,33 ≤ 0,50 SR	≤ 0,20 ≥ 0,50 SR	≤ 0,50 ≤ 0,50 SR	≤ 0,33 ≥ 0,50 SR	≤ 0,66 SR ≤ 0,50	≤ 0,50 SR ≤ 0,33
Inclinación de la fibra		1:8		1:6		1:6	
Médula		Ver [1]		SR		SR	
Arista faltante		≤ 0,25 del ancho y del canto, respectivamente.					
Bolsillos de resina		20 mm de ancho por 200 mm de largo o superficie equivalente.					
		Se aceptan: sin son superficiales y de largo menor que 300 mm.					
	Grietas	Se acepta una grieta por metro lineal si su largo es: ≤ 0,25L≤		Se acepta una grieta por metro lineal de pieza si si su largo es: ≤ 0,25L ≤ 900 mm.			

Fisuras		600 mm.	
	Rajaduras	Se acepta sólo en los extremos y de largo no superior al ancho de la pieza.	i) Largo ≤ 600 mm; ii) En los extremos: largo ≤ 1,5 veces el ancho de la pieza

[1] : Se acepta médula sólo en piezas de ancho superior a 140 mm del grado GS cuando su ancho no exceda 12 mm, excepto para franjas de largo acumulado no superior a 100 mm, en las que se acepta hasta 18 mm de ancho. Adicionalmente debe controlarse que la presencia de médula se manifieste sobre el tercio central de la cara (referido al ancho de la pieza). En caso contrario la pieza se clasificaría como G1.

Con:

RANT: razón de área nudosa total.

RANB: razón de área nudosa en la zona de borde.

RANI: razón de área nudosa individual

2.2.2.- Grado estructural según ensayos mecánicos

La clasificación mecánica según el método destructivo, es aquel mediante el cual se somete cada pieza a un esfuerzo controlado de flexión y se mide la deformación producida. De esta forma se obtiene el módulo de elásticidad a partir del cual se pueden estimar el resto de los parámetros de resistencia (Herrero, 2003).

Los principales inconvenientes son: sólo es posible clasificar piezas de una escuadría limitada, los elevados costes de la maquinaria y que además no es posible su aplicación en obra. Sin embargo puede ser una alternativa rentable para su instalación en aserraderos y ya ha encontrado su implementación en algunas fabricas de madera laminada encolada (Herrero, 2003).

Actualmente existen numerosas normas para los ensayos mecánicos, en Chile se deben seguir las siguientes normas:

- NCh 969: Determinación de las propiedades mecánicas, condiciones generales para los ensayos.
- NCh 973: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de compresión paralela.
- NCh 974: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

- NCh 975: Determinacion de las propiedades mecánicas ensayo de tracción perpendicular a las fibras.
- NCh 976: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de cizalle paralelo a las fibras.
- NCh 977: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de clivaje.
- NCh 978: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de dureza.
- NCh 986: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de tenacidad.
- NCh 987: Determinación de las propiedades mecánicas, ensayo de flexión estática.

Actualmente las formas más convencionales para clasificar la madera es a través de la clasificación visual y los ensayos mecánicos, estos últimos encarecerían el coste del material en el mercado debido a que la madera ya ensayada no se puede volver a reutilizar. Es por esto que se necesita estudiar métodos no destructivos para la clasificación de la madera según sus resistencias. La clasificación visual si bien es barata y sencilla, también es subjetiva e imprecisa, subestima las propiedades de las piezas por lo que produce perdidas a la empresa productora debido a su gran conservadurismo, lo cual asegura que las propiedades de las piezas están por sobre su clasificación, lo que corrobora lo antes dicho (Baradit & Fuentealba, 2002)

En la tabla 2.2 se mostrará un estudio donde se hace una comparación entre la clasificación visual de madera para uso estructural (según UNE 56.544:2003) y ensayo a flexión para probetas libres de defectos (según UNE 56.537-79):

Tabla 2.2 Distribución de vigas por clases visuales

Clasificación	M1	M2	Rechazo
Clasificación Visual	1	47	41
Clasificación Real	17	52	20

Fuente: (Acuña, Llorente, & Casado, 2001)

Según las conclusiones del autor (Acuña, Llorente, & Casado, 2001) no hay una relación entre la clasificación visual y la clasificación real, lo único que denota en esta tabla es la perdida de piezas para el uso estructural según la clasificación visual y por ende pérdidas económicas debido a la baja estimación de resistencia.

2.2.3.- Utilización de la técnica de ultrasonidos y de la técnica de análisis de vibraciones

La técnica del uso de ultrasonido: permite predecir a partir de la velocidad de paso de onda y con una buena estimación de la densidad y el módulo de elasticidad en obra y en laboratorio (Carballo, Hermoso, & Díez, 2009). Su actual uso se ve favorecido por la portabilidad de los equipos, lo cual ayuda a ejecutar medidas al pie del árbol hasta estructuras ya consolidadas.

Existen varios equipos de los cuales destacan:

- Ultrasonido Sylvatest: opera a una frecuencia de 22 kHz, y predice el modulo de elasticidad a través de la velocidad de onda.

- Microsecond Timer de la empresa Facopp: genera ondas de impacto y opera a una frecuencia de onda de 23 kHz. Las ondas de impacto se producen por excitación mecánica a través de golpes sobre uno de los sensores.

Análisis de vibraciones: estudia las vibraciones producidas en el material y su frecuencia propia, esta técnica consiste en impactar con un martillo la pieza en estudio para producir las vibraciones.

- FFT Analyzer: analiza el sonido a través de la frecuencia principal de vibración (n=1) haciendo uso de la transformada de Fourier, se inducen los golpes con un martillo en la dirección que se desea medir el modulo de elasticidad y en el lado opuesto un micrófono recibe la señal.

- Portable Lumber Grader (Facopp), Clasificador portable para madera: mide la velocidad de transmisión de onda vibratoria y la densidad, el cual proporciona una muy buena estimación de los módulos de elasticidad. (Carballo, Hermoso, & Díez, 2009).

2.2.4.- Madera estructural

Recientemente en Chile se ha logrado incorporar el concepto de madera estructural en el sistema de industria de la construcción.

Se entiende madera estructura como; la madera o su derivado que tiene propiedades resistentes conocidas, lo cual permite diseñar responsablemente estructuras de vivienda o edificaciones de mayor envergadura. Las propiedades resistentes y el calculo estructural se encuentran estipulados en la norma Chilena NCh 1198 of 2006 (Cerda, 2012).

A continuación en la figura 2.25 se muestra un ejemplar de pieza certificada, donde el timbre de certificación contiene la información de la calidad de la pieza y otros requisitos importantes.

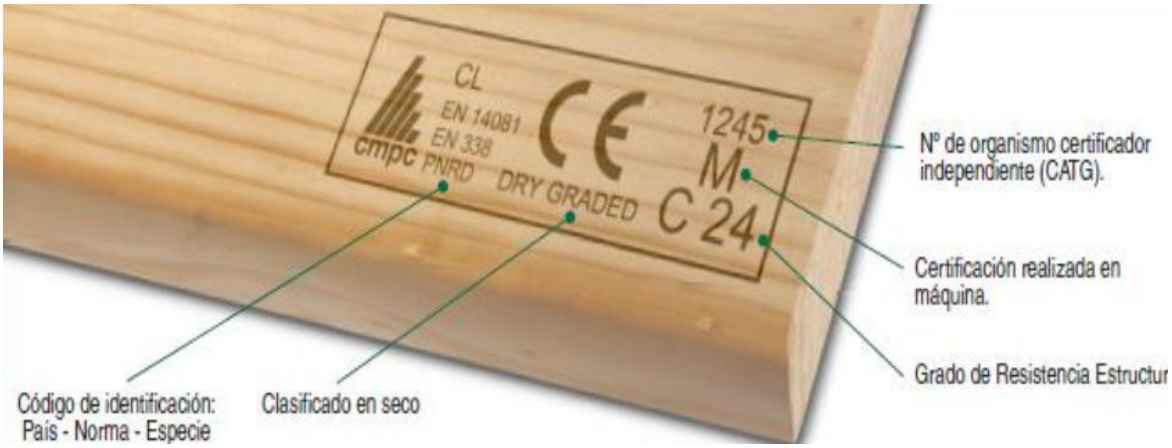


Figura 2.25 Timbre de certificación de madera estructural, según (Cerda, 2012)

La clasificación estructural de la madera consiste en relacionar las caracteristicas de cada pieza o producto con valores de resistencia y rigidez. La única forma de conocer exactamente sus características mecánicas es ensayando una pieza hasta que se rompa, como ya sabemos hay dos formas de clasificación estructural: clasificación visual y la clasificación mecánica (Cerda, 2012).

En las siguientes figuras 2.26 y 2.27 se muestran ejemplares de piezas de madera según su clasificación visual o mecánica

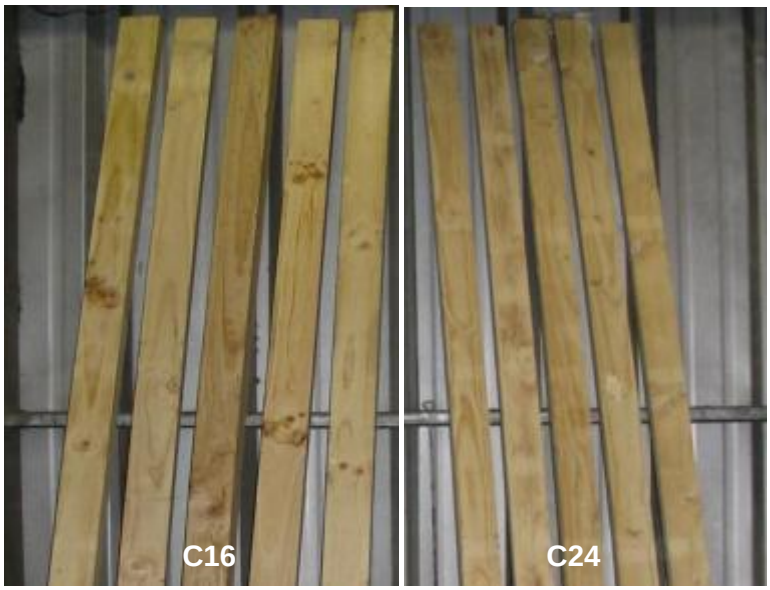


Figura 2.26 Clasificación mecánica C16 y C24, según (Cerda, 2012)

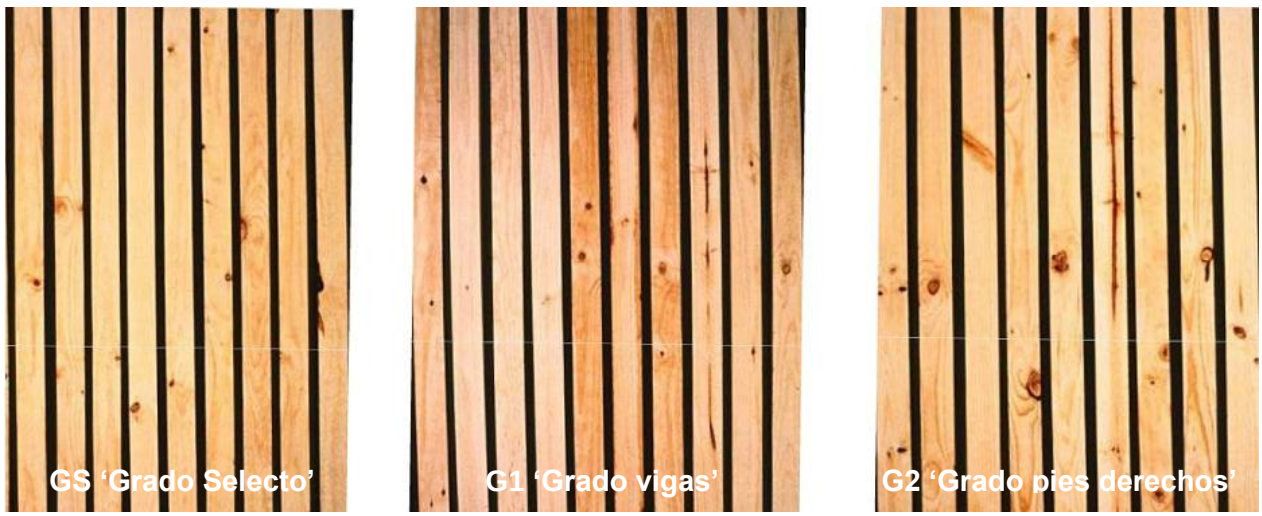


Figura 2.27 Clasificación visual: GS, G1, G2 (de izquierda a derecha), según (González, 2012)

2.3.- Diseño estructural de la madera

Para el diseño estructural de madera se tienen dos métodos, los cuales se mostrarán de la forma más breve posible para su posterior utilización, el método "LRFD" según la Norma AF&PA/ASCE 16-95 y también el método de tensiones admisibles según la norma NCh 1198 of 2006 para poder hacer su comparación en el proceso de diseño estructural según los objetivos.

Antes de hacer nuestro diseño nos apoyamos en las propiedades mecánicas de referencia, obtenidas según la calidad de la madera. Para entender como obtenemos estos valores, en el siguiente punto se hará una reseña, de los valores característicos, tensiones básicas, tensión admisible, tensión de diseño y tensión de trabajo.

2.3.1- Valores característicos, tensión admisible, tensión de diseño y tensión de trabajo

El dimensionamiento mecánico es el resultado de la adopción de modelos de diseño y la asunción de valores hipotéticos de carga y resistencias de los materiales, bajo determinados requerimientos de seguridad y funcionalidad (Lomagno, 2009).

Se definen como 'valores de ensayo' a los obtenidos en una evaluación de laboratorio de muestras representativas de la especie considerada. Los ensayos se realizan comúnmente con madera seca (12% humedad) y con cargas de muy corta duración (1-5 min) (Lomagno, 2009).

Se realizan dos tipos de laboratorio: de probetas libres de defectos y de piezas a escala real. Para probetas libres de defectos es común adoptar como resultado del ensayo el valor correspondiente al límite inferior del 1% de la distribución, mientras que para los ensayos de piezas a escala real se adopta el límite del 5% de la distribución de valores (Lomagno, 2009).

Para obtener los valores característicos se debe optar por una de las siguientes ecuaciones:

- 1% = prom - 2,33*sx; para probetas normalizadas.
- 5% = prom - 1,65 *sx; para probetas a escala real. Ec. 2.1

1%: esfuerzo al límite inferior del 1%

prom: esfuerzo promedio de la muestra.

sx: desviación estándar de la muestra.

Se define ‘valores característicos’ a aquellos valores que tienen una probabilidad del 5% (según sea el caso) de ser inferiores, es decir que el 95% de los casos supera al valor característico.

La tensión admisible es aquel valor de referencia para una determinada clase estructural, a la cual se le aplican los factores de modificación para transformarse en tensión de diseño.

Las ‘tensiones de diseño’ son valores estimados de esfuerzo que las piezas pueden soportar sin ningún tipo de falla, aun bajo las condiciones de uso real. Las resistencias de diseño se establecen en base a valores de ensayo, afectados por coeficientes que tienen en cuenta la reducción de resistencia que sufren las piezas debido a factores no presentes en los ensayos de laboratorio (Lomagno, 2009).

Se denomina ‘tensión de trabajo’, a la tensión que presenta la estructura una vez cargada, o sea es una aproximación a la tensión real que presenta la estructura en servicio.

Según el método de tensiones admisibles usado en nuestro País, primero se define la tensión básica para el cálculo de la tensión admisible, las cuales quedan definas como:

$$\sigma_{bas} = \frac{med - 1{,}65 \times sx}{K_r} = \frac{car}{K_r} \qquad \text{Ec. 2.2}$$

$$\sigma adm = \sigma_{bas} \times RR \qquad \text{Ec. 2.33}$$

σ_{bas}: esfuerzo básico.

σ_{adm}: esfuerzo admisible.

car: esfuerzo característico.

K_r: factor reducción según el tipo de esfuerzo.

RR: Razón de resistencia

2.3.2- El método LRFD para estructuras de madera

Durante las últimas décadas el diseño estructural se ha enfocado hacia un procedimiento más racional basado en un concepto de de probabilidades denominado ‘estado límite’, condición de la estructura en la cual cesa de cumplir su función. Es así como los estados límites últimos definen la máxima capacidad de carga que posee una estructura, una vez sobrepasado este máximo puede conducir a pérdida de la estabilidad de la estructura, rotura de secciones críticas y pandeo.

El diseño por el método LRFD ha sido el resultado de un diseño probabilístico para estados límites que busca la confiabilidad deseada, donde su objetivo principal es considerar la incertidumbre de las variables usando los principios de la probabilidad para así dimensionar una estructura que permitirá un riesgo tolerable de fallas, gracias a esto nos da una medida cuantitativa de la seguridad (Dávalos, 1996). Para entender el método probabilístico se consideró R (resistencia) y U (efecto estructural de las cargas aplicadas) en estado límite como variables aleatorias estadísticamente independientes, lo cual supone que el estado límite se produce cuando R<U, por lo que se establece la función R-U, ahora la probabilidad de que ocurra R-U<0 se puede ver en la figura 2.28 como el área sombreada:

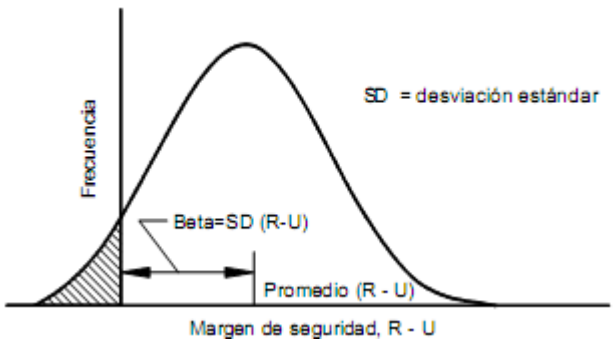


Figura 2.28 Distribución de frecuencias del margen de seguridad, R-U, según Norma AF&PA/ASCE 16-95

Para responder a las diferentes condiciones la resistencia limitante se multiplica por un factor de resistencia para usarse en el diseño. Las cargas que actúan sobre las estructuras provienen de diferentes fuentes, las primarias son la gravedad, el viento y los sismos. Para usarse en el análisis o en el trabajo de diseño, las cargas deben: primero; identificarse, medirse y cuantificarse de alguna manera y, luego; factorizarse. En la mayoría de las situaciones, también

deben combinarse en todas las maneras posibles pero probables, lo que a menudo produce más de una condición de carga para el diseño.

Al final una sola combinación de carga prevalece para la consideración del efecto máximo sobre una estructura dada. Sin embargo, en estructuras complejas los miembros individuales por separado se diseñan para diferentes combinaciones de carga crítica. Si bien la combinación crítica para estructuras simples algunas veces se percibe con facilidad, otras es necesario el realizar análisis completos para muchas combinaciones y luego comparar los resultados en detalle para evaluar las verdaderas condiciones de diseño. Por lo tanto tenemos las siguientes combinaciones para LRFD:

$$1.4*D \qquad \text{Ec. 2.4}$$

$$1.2*D + 1.6*L + 0.5*(Lr \text{ o } S \text{ o } R) \qquad \text{Ec. 2.5}$$

$$1.2*D + 1.6*(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + 0.5*(L \text{ o } 0.8*W) \qquad \text{Ec. 2.6}$$

$$1.2*D + 1.3*W + 0.5*L + 0.5*(Lr \text{ o } S \text{ o } R) \qquad \text{Ec. 2.7}$$

$$1.2*D + 1.0*E + 0.5*L + 0.2*S \qquad \text{Ec. 2.8}$$

$$0.9*D - (1.3*W \text{ o } 1.0*E) \qquad \text{Ec. 2.9}$$

D: Carga muerta.

L: Carga viva por almacenamiento, ocupación o impacto.

Lr: Caga viva de techo.

S: Carga de nieve.

R: Carga causada por agua de lluvia o hielo.

W: Carga de viento.

E: Carga de sismo.

Los factores de resistencia (Φ) son siempre menores a la unidad. La magnitud de los factores de resistencia representa una reducción relativa requerida para lograr niveles de fiabilidad comparables. Según la norma LRFD los factores de resistencia para productos basados en madera y conexiones vienen dados en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Factores de resistencia Ø, según (Norma AF&PA/ASCE 16-95)

Aplicación	Símbolo	Valor
Compresión	Φc	0,9
Flexión	Φb	0,85
Estabilidad	Φs	0,85
Tracción	Φt	0,8
Corte/Torsión	Φv	0,75
Conexiones	Φz	0,65

2.3.2.2.- Límites de servicio

La calidad de servicio se debe verificar usando las cargas de servicio, las cuales generalmente se consideran como las cargas nominales no factoreadas.

Los límites de servicio usados comúnmente en el diseño es la limitación de la deflexión para miembros que componen la estructura de cada piso o nivel. Los códigos de construcción han definido tradicionalmente estos límites como una fracción de la longitud del miembro a analizar, tales como: el límite de L/360 para una solicitación de carga viva, o L/240 para una solicitación de la carga total para analizar los pisos de un edificio. Como el diseño de productos de madera también envuelve elementos de grandes luces con miembros de pesos ligeros, se ha vuelto común para los fabricantes recomendar un criterio de deflexión más severo.

2.3.2.3.- Factores de ajuste

El primer factor de ajuste a definir es aquel debido a la conversión de formato que se muestra en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Factores de conversión de formato para elemento y conexiones

Propiedad	**K_f**
Flexión (F_b)	$2,16/Ø_b$
Tracción (F_t)	$2,16/Ø_t$
Cizalle (F_v)	$2,16/Ø_v$
Compresión paralela (F_c)	$2,16/Ø_c$
Compresión perpendicular (F_{cb})	$1,875/Ø_c$
Estabilidad ($E_{mín}$)	$1,5/Ø_s$
Conexiones	$2,16/Ø_z$

Fuente: Design of Wood Structures ASD/LRFD.

2.3.2.3.1.- Factor de efecto del tiempo (λ)

Se simbolizan con la letra λ, y se encuentran tabulados para cada ecuación de combinación de carga. Estos factores fueron hallados en base al análisis de fiabilidad que consideraban la variación de las propiedades resistentes de esfuerzos, según procesos de modelación de cargas estocásticas y efectos de deterioro acumulado (Elingwood y Rosowsky, 1991). Debido a que los esfuerzos referenciales están basados en ensayos con aplicación de cargas con duración corta, los factores de efecto del tiempo son iguales a la unidad para combinaciones de carga en los cuales no ocurre una acumulación de deterioro. Los factores de efecto del tiempo están en el rango de 1.25 para combinaciones de carga en las que predominan las cargas de impacto, hasta 0.6 para combinaciones de carga en las que predomina la carga muerta. Los factores de efecto temporal se muestran en la tabla 2.5:

Tabla 2.5 Factores de efecto temporal, según (Norma AF&PA/ASCE 16-95)

Combinaciones de cargas	Factor de efecto temporal (λ)
1,4D	0,6
1,2D+1,6L+0,5D(Lr o S o R)	0,7 cuando L corresponde a almacenamiento
	0,8 cuando L corresponde a ocupación
	1,25 cuando L corresponde a cargas de impacto
1,2D+1,6L(Lr o S o R)+(0,5L o 0,8W)	0,8
1,2D+1,3W+0,5L+0,5(Lr o S o R)	1
1,2D+1,0E+0,5L+0,2S	1
0,9D-(1,3W o 1,0E)	1

2.3.2.3.2.- Factor por miembro repetitivo (Cr)

Se aplica cuando:

- Hay tres o más miembros paralelos.

- Son miembros espaciados a no más de 60 cm (24 pulgadas).

- Los miembros están conectados por un elemento de distribución de carga, ya sea cubierta o revestimiento.

Para los tres puntos anteriores Cr=1.15 para cualquier otro caso Cr=1.0, se aplica a miembros en flexión (Breyer, Fridley, Cobeen, & Pollock, 2007).

2.3.2.3.3.- Factor de uso plano (Cfu)

Se aplica a miembros que son cargados en su cara más ancha, los factores de uso plano se encuentran estipulados en la tabla 2.6:

Tabla 2.6 Factor de uso Cfu, según (Norma AF&PA/ASCE 16-95)

Peralte	Ancho	
	2" y 3"	**4"**
2" y 3"	1.0	-
4"	1.1	1.0
5"	1.1	1.05
6"	1.15	1.05
8"	1.15	1.05
10" y más	1.2	1.1

2.3.2.3.4.- Factor del contenido de humedad (Cm)

Para madera aserrada se determina el valor máximo de un 19% de humedad para un Cm=1.0, si el porcentaje de humedad es mayor al 19% entonces se debe aplicar la tabla 2.7:

Tabla 2.7 Factor de servicio húmedo (Cm)

(Tabla 4A NDS-suplemento/05, cuando la humedad es mayor a 19%)

Fb	Ft	Fv	Fcb	Fc	E, Emn
0.85*	1.0	0.97	0.67	0.8**	0.9

*si (Fb) x (Cf) ≤1,150 psi, Cm=1,0

**si (Fb) x (Cf) ≤750 psi, Cm=1.0

2.3.2.3.5.- Factor de tamaño (Cf)

Este factor se debe aplicar debido a que el tamaño también afecta en los esfuerzos de una pieza, sólo se aplica para la flexión, tenemos que:

$$\mathbf{Cf} \begin{cases} 1{,}0 \quad \text{si } d<12 \text{ pulg.} \\ \left(\frac{12}{d}\right)^{1/9} \quad \text{Si } d\geq 12 \text{ pulg.} \end{cases} \qquad \text{Ec. 2.10}$$

2.3.2.3.6.- Factor de efecto temperatura (Ct)

Los esfuerzos de una miembro se ve afectado por la temperatura de la madera en servicio, la fuerza del miembro disminuye a medida que la temperatura aumenta, para temperaturas mayores de 150ºF se podría decir que el miembro pierde totalmente sus capacidades de resistencia. Por lo tanto se debe aplicar la tabla 2.8:

Tabla 2.8 Factor de Temperatura (Ct), (Tabla 2.3.3 NDS-suplemento/05)

Valores de Diseño de Referencia	**Condiciones de Humedad en Servicio**	**Ct**		
		T≤100ºF	**100ºF<T≤25ºF**	**123º<T≤150ºF**
Ft, E, Emin	Húmedo o seco	1.0	0.9	0.9
Fb, Fv, Fc, Fcb	Seco	1.0	0.8	0.7
	Húmedo	1.0	0.7	0.5

2.3.2.3.7.- Factor de corte (Ci)

Tabla 2.9 Factor de Corte, (Tabla 4.3.8 NDS-suplemento /05)

Valor de Diseño	**C_i**
E, E_{min}	0,95
F_b, F_t, F_c, F_v	0,80
F_{cb}	1,0

2.3.2.3.8.- Resistencia ajustada

Según lo indiquen las tablas se deben aplicar los factores de ajuste, donde la resistencia ajustada se debe calcular como:

$$R' = R*C1*C2*....*Cn \qquad \text{Ec. 2.11}$$

R': resistencia ajustada

R: resistencia de referencia.

Ci: factores de ajuste aplicables

Existen varios factores de ajustes los cuales se han agrupado:

- Factores de ajuste por las condiciones de uso final.
- Factores de ajuste por la configuración del miembro.
- Factores de ajuste adicionales para madera estructural y madera laminada encolada.
- Factores de ajuste adicionales para paneles estructurales.
- Factores de ajuste adicionales para postes y pilares de madera.
- Factores de ajustes adicionales para conexiones estructurales.

2.3.2.4.- Diseño de los miembros

2.3.2.4.1.- Miembros traccionados

Se aplica a los miembros sometidos a tracción axial concéntrica, donde:

$$Tu = \lambda * Øt * T' \quad \rightarrow \quad T' = Ft' * An \qquad \text{Ec. 2.12}$$

Tu: esfuerzo de tracción debido a las cargas factoreadas.

λ: factor de efecto temporal, ver tabla 2.5

Øt: factor de resistencia paralela al grano, ver tabla 2.3

T': resistencia a la tracción ajustada.

Ft': resistencia a la tracción paralela al grano ajustada.

An: superficie neta.

2.3.2.4.2.- Miembros comprimidos

Se aplica a los miembros sometidos a compresión axial concéntrica y a compresión localizada en las superficies de apoyo, donde:

$$Pu = \lambda \times \emptyset c \times P' \qquad \text{Ec. 2.13}$$

Pu: esfuerzo de compresión debido a las cargas factoreadas.

λ: factor de efecto temporal, ver tabla 2.5

Øc: factor de resistencia paralela al grano, ver tabla 2.3

P': resistencia a la compresión ajustada.

2.3.2.4.2.1.- Relación de esbeltez de una columna

Es la relación entre la longitud efectiva en la dirección considera y el radio de giro correspondiente.

$$\text{relacion de esbeltez} = \frac{Ke \times l}{r} \leq 175 \qquad \text{Ec. 2.14}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \qquad \text{Ec. 2.15}$$

Ke: coeficiente de pandeo.

L: longitud efectiva.

r: radio de giro.

I: inercia de la sección.

A: área de la sección.

Los factores de longitud efectiva para efectos de pandeo se encuentran en la figura 2.29:

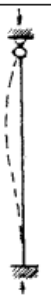
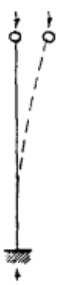
Modos de pandeo						
Valor teórico de K_e	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de diseño recomendado para K_e cuando se aproximan las condiciones ideales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,4
Referencia para las condiciones de extremo		Rotación impedida, traslación impedida Rotación libre, traslación impedida Rotación impedida, traslación libre Rotación libre, traslación libre				

Figura 2.29 Factores de longitud efectiva para el diseño de columnas de madera, según Norma AF&PA/ASCE 16-95

2.3.2.4.2.2.- Resistencia de columnas prismáticas

La resistencia de la columna se debe calcular para el eje más crítico y en relación a la esbeltez de la misma.

$$P' = Cp \times A \times Fc * = Cp \times Po' \qquad \text{Ec. 2.16}$$

$$Cp = \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2 \times c} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2 \times c}\right)^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}} \qquad \text{Ec. 2.17}$$

$$F_{cE} = \frac{0.822 \times E_{min}'}{(l_e/d)^2} \qquad \text{Ec. 2.18}$$

A = superficie total.

Fc*: resistencia a la compresión paralela al grano multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables excepto CP;

E_{min}': módulo de elasticidad ajustado.

c = 0,80 para miembros de madera maciza;

c = 0,85 para postes y pilares de sección circular;

c = 0,90 para miembros de madera laminada encolada y madera compuesta estructural;

d: altura de la sección transversal de la pieza.

2.3.2.4.3.- Miembros en flexión

Se deben diseñar de la siguiente forma:

$$Mu = \lambda \times \emptyset b \times M' \qquad \text{Ec. 2.19}$$

Mu: Momento debido a las cargas factoreadas.

λ: factor de efecto temporal, ver tabla 2.5

Øc: factor de resistencia para flexión, ver tabla 2.3

M': resistencia al momento ajustado.

2.3.2.4.3.1.- Resistencia al momento de vigas con apoyo lateral

Aplicado a miembros en flexión de sección circular o cuadrado, a miembros rectangulares flexionados alrededor de su eje débil, miembros con cara comprimida provista de apoyo lateral continuo y miembros arriostrados.

- Alrededor de su eje resistente:

$$M' = M'_x = S_x \times F'_{bx} \qquad \text{Ec. 2.20}$$

Mx': resistencia al momento ajustado alrededor del eje resistente.
Sx: modulo de la sección para flexión en el eje resistente.
Fbx': resistencia a la flexión ajustada en el eje resistente.

- Alrededor de su eje débil:

$$M' = M'_y = S_y \times F'_{by} \qquad \text{Ec. 2.21}$$

My': resistencia al momento ajustado alrededor del eje débil.
Sy: modulo de la sección para flexión en el eje débil.
Fby': resistencia a la flexión ajustada en el eje débil.

2.3.2.4.3.2.- Resistencia al momento de vigas sin apoyo lateral total

Aplicado a miembros prismáticos flexionados que no cumplen con los requisitos de miembros con apoyo lateral.

Para vigas prismáticas: alrededor de su eje resistente se tiene:

$$M' = C_l \times S_x \times F_{bx} * \qquad \text{Ec. 2.22}$$

$$C_L = \frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bx})}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bx})}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(F_{bEn}/F^*_{bx})}{0{,}95}} \qquad \text{Ec. 2.23}$$

$$F_{bEn} = \frac{1{,}2 \times E_{min}'}{R_b^2} \qquad \text{Ec. 2.24}$$

$$E_{min}{}' = E_{min} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_F \times \emptyset_S \qquad \text{Ec. 2.25}$$

$$R_b = \sqrt{\frac{l_e \times d}{b^2}} \qquad \text{Ec. 2.26}$$

$$F^*_{bx} = F_f \times C_M \times C_t \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda \qquad \text{Ec. 2.27}$$

Cl: factor de estabilidad de las vigas.

Sx: modulo de la sección para flexión en el eje resistente.

l_e: longitud efectiva, según tabla 2.10

Tabla 2.10 Factores para determinar la longitud efectiva L_e, para miembros macizos de sección rectangular utilizando el enfoque de la longitud no arriostrada equivalente, según (Norma AF&PA/ASCE 16-95)

Condición del tramo	**Condición de carga**	**Condición de arriostramiento**	**Le**		
			lu/d<7	7≤lu/d≤14,3	lu/d>14,3
	Cualquier condición no listada a continuación		2,06 lu	1,84 lu	1,63 lu +3d
Tramo simple	- carga concentrada en el centro del tramo	arriostrado sólo en los extremos	1,80 lu		1,37 lu + 3d
	-carga uniformemente distribuida	arriostrado sólo en los extremos			1,63 lu +3d
Voladizo	-carga concentrada en el extremo no apoyado	--	2,06 lu		1,44 lu + 3d
	-carga uniformemente distribuida	--	1,87 lu		0,90 lu +3d
Long. Del tramo, L	-cargas concentradas espaciadas uniformemente:	arriostrado en cada carga concentrada:	1,33 lu	Le	
	-una carga	lu = L/2		1,11 lu	
	-dos cargas	lu = L/3		1,68 lu	
	-tres cargas	lu = L/4		1,54 lu	
	-cuatro cargas	lu = L/5		1,68 lu	
	-cinco cargas	lu = L/6		1,73 lu	
	-seis cargas	lu = L/7		1,84 lu	
	-siete o más cargas	--		1,84 lu	
Tramo com momentos de extremos iguales	--	--		1,84 lu	

2.3.2.4.4.- Miembros en corte flexional

Se deben diseñar de la siguiente forma:

$$Vu = \lambda \times \emptyset v \times V' \qquad \text{Ec. 2.28}$$

Vu: esfuerzo de corte debido a las cargas factoreadas.

λ: factor de efecto temporal, ver tabla 2.5

Øv: factor de resistencia por corte, ver tabla 2.3

V': resistencia al corte ajustado.

$$V' = \frac{2 \times Fv' \times A}{3} \qquad \text{Ec. 2.29}$$

Fv': resistencia al corte horizontal ajustado.

A: área de la sección.

2.3.2.4.5.- Miembros en torsión

Se deben diseñar de la siguiente forma:

$$Mtu = \lambda \times \emptyset v \times Mt' \qquad \text{Ec. 2.30}$$

Mtu: Momento torsor debido a las cargas factoreadas.

λ: factor de efecto temporal, ver tabla 2.5

Øv: factor de resistencia para torsión, ver tabla 2.3

Mt': resistencia al momento torsor ajustado.

Para una viga maciza rectangular Mt' viene dado por:

$$Mt' = \frac{b^2 \times d^2 \times Ftv'}{(3 \times d) + (1.8 \times b)} \qquad \text{Ec. 2.31}$$

b: ancho de la sección.

d: profundidad de la sección, b≤d.

Ftv': resiste al corte torsional ajustado.

2.3.2.4.6.- Esfuerzos combinados

2.3.2.4.6.1.- Resistencia a la flexotracción

Los miembros flexotraccionados deben ser contralados ya sea por la cara traccionada o la cara comprimida, lo cual viene dado por:

- Cara traccionada: existe interacción con estabilidad lateral.

$$\frac{T_u}{\lambda \times \emptyset_t \times T'} + \frac{M_{ux}}{\lambda \times \emptyset_b \times M_s{}'} + \frac{M_{uy}}{\lambda \times \emptyset_b \times M_y{}'} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.32}$$

- Cara comprimida: existe interacción con tracción axial lo cual reduce las condiciones de pandeo torsional lateral.

$$\frac{M_{ux} + \frac{d}{6} \times T_u}{\lambda \times \emptyset_b \times M_x{}'} + \frac{M_{uy}}{\lambda \times \emptyset_b \times M_y{}' \times \left(1 - \frac{M_{ux}}{\emptyset_b \times M_e}\right)^2} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.33}$$

El factor d/6 de la ecuación sólo se usa para miembros con sección rectangular, si no se debe usar este factor $\frac{S_x}{A}$

Tu: esfuerzo de tracción debido a las cargas factoreadas.

Mux, Muy: momento debido a las cargas factoreadas, alrededor de sus respectivos ejes.

Mx', My': resistencia al momento ajustado para condiciones de arriostramiento lateral, alrededor de sus respectivos ejes.

Me: momento debido al pandeo elástico lateral de la sección.

Ms'= Mx' calculado con el factor de estabilidad de vigas Cl=1, y el factor volumétrico Cv.

2.3.2.4.6.2.- Resistencia a flexión biaxial y flexocompresión

Para miembros cargados en flexión biaxial o flexocompresión se debe cumplir la siguiente condición:

$$\left(\frac{P_u}{P'}\right)^2 + \frac{M_{m,x}}{\left(1 - \frac{P_u}{F_{cE,x}}\right) \times M_x'} + \frac{M_{m,y}}{\left(1 - \frac{P_u}{F_{cE,y}} - \left(\frac{M_x'}{M_E}\right)^2\right) \times M_y'} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.34}$$

Pu: esfuerzo de compresión axial por cargas factoreadas.

P': resistencia ajustada sólo por compresión axial para el eje de pandeo.

$M_{m,x}$, $M_{m,y}$: momento factoreado incluyendo cualquier amplificación por efecto de 2º orden, de acuerdo a sus respectivos ejes.

Mx', My': momento ajustado, de acuerdo a sus respectivos ejes.

M_E: momento debido al pandeo elástico lateral de la sección.

2.3.2.5.- Consideraciones sobre los estados límites de servicio

Los estados límites de servicio son condiciones en las cuales se perturban las funciones de un edificio o estructura debido a las deformaciones elásticas excesivas, daños localizados o deterioro de los componentes del edificio o debido a la incomodidad de los ocupantes. Aunque en general para los estados límites de servicio la seguridad no constituye un problema, dichos estados límites pueden traer aparejadas graves consecuencias económicas (AF&PA/ASCE, 1995).

Una estructura puede experimentar tres tipos de falta de serviciabilidad:

- Deformaciones o rotaciones excesivas: las cuales pueden afectar la apariencia, la funcionalidad o el drenaje de la estructura, o que pueden provocar un transferencia de cargas perjudicial para elementos y accesorios que no han sido diseñados para soportar cargas (AF&PA/ASCE, 1995).

- Vibraciones excesivas: producidas por las actividades de los ocupantes del edificio, por los equipos mecánicos o por el viento, las cuales pueden provocar incomodidad a los ocupantes (AF&PA/ASCE, 1995).

- Deterioro: lo que incluye el deterioro provocado por los agentes climáticos, descomposición y decoloración (AF&PA/ASCE, 1995).

2.3.2.6.- Deflexión límite

Los límites para las deflexiones de los elementos vienen dados en la tabla 2.11, según cargas o combinaciones:

Tabla 2.11 Deflexiones límites

Construcción	L	S o W	D+L
Elementos de techo			
-Con cielos enyesados	l/360	l/360	l/240
-Sin cielos enyesados	l/240	l/240	l/180
-No soportan cielos	l/180	l/180	l/120
Elementos de piso	l/360	-	l/240
Paredes exteriores y tabiquerías interiores			
-Con acabados frágiles	-	l/240	-
-Con acabados flexibles	-	l/120	-
Agrícolas	-	-	l/180
Invernaderos	-	-	l/120

Fuente: Design of Wood Structures ASD/LRFD.

En ciertos casos puede ser necesario establecer un límite (independiente de la longitud), típicamente **10-12 mm** para la máxima deflexión a fin de minimizar la posibilidad que resulten dañados los elementos no estructurales adyacentes (AF&PA/ASCE, 1995).

El estado límite para la deflexión excesiva de una viga cargada uniformemente es:

$$\Delta_{max} - \frac{k w_L l^4}{EI} = 0 \qquad \text{Ec. 2.35}$$

Δ_{max}**:** L/360 o L/240, según corresponda.

k: factor que refleja la condición de fijación.

w_L**= (s)(L);** con **s:** separación de las vigas y **L:** sobrecarga.

l: longitud de la viga.

EI: rigidez flexional.

2.3.3.- El método de tensiones admisibles para estructuras de madera (ASD)

Es un método tradicional que propone diseñar una estructura para trabajar a algún porcentaje apropiado de su capacidad total.

Para utilizar este método aplicaremos nuestra norma NCh 1198 of 2006, de la cual sólo ocuparemos aquellos puntos necesarios para el diseño de las piezas de una estructura ya definida.

2.3.3.1.- Factores de modificación

2.3.3.1.1.- Factor de modificación por contenido de humedad (Kh)

Para piezas de madera aserrada de Pinus radiata en condición verde, es decir su humedad supera el 20% se deben usar los factores de modificación de la tabla 2.12:

Tabla 2.12 Factor de modificación por humedad para madera de *Pinus radiata* en condición verde, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Tensión admisible o módulo elástico	**K_h**
Flexión	0,750
Compresión paralela	0,520
Tracción paralela	0,750
Compresión normal	0,670
Cizalle	0,850
Módulo de elasticidad en flexión	0,830
Indice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$	0,478

Si el contenido de humedad está comprendido entre el 12% y el 20% entonces se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$K_h = (1 - \Delta H \times \Delta R) \qquad \text{Ec. 2.36}$$

K_h: es el factor de modificación de humedad que se aplica a las tensiones admisibles y módulo elástico, que se definen para un porcentaje de humedad del 12%.

ΔH: Diferencia entre el contenido de humedad de servicio (H_s) observado y el 12%.

ΔR: Variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad, se debe aplicar según la tabla 2.13:

Tabla 2.13 Variación de las propiedades resistentes para una variación del contenido humedad igual a 1%, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Tensión admisible o módulo elástico	**Variación de la resistencia para $\Delta H - 1\%$ ΔR**
	Pinus radiata
Flexión	0,0250
Compresión paralela	0,0480
Tracción paralela	0,0250
Compresión normal	0,0330
Cizalle	0,0150
Modulo de elasticidad en flexión	0,0170
Indice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$	0,0290

2.3.3.1.2.- Factor de modificación por duración de carga (Kd)

Dependiendo de la duración de la carga se debe aplicar:

$$K_d = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295 \qquad \text{Ec. 2.37}$$

t: duración de la carga en segundos.

2.3.3.1.3.- Factor de modificación por trabajo en conjunto (Kc)

Se debe aplicar para la tensión admisible en flexión cuando existe un conjunto de elementos paralelos que conforman un sistema, entonces:

$$Kc = \begin{cases} 1.15 & \begin{cases} \text{Hay tres o más elementos en el sistema} \\ \text{están separados por no más de 610 mm} \end{cases} \\ 1.0 & \text{en otros casos.} \end{cases} \qquad \text{Ec. 2.38}$$

2.3.3.1.4.- Factor de modificación por temperatura

Si se observa que la temperatura ambiental que envuelve a una estructura en condiciones de servicio es superior a lo normal entonces se debe modificar las tensiones admisibles de acuerdo al anexo H de la norma NCh 1198 of 2006.

2.3.3.1.5.- Factor de modificación por tratamiento químico

a.- Para aquellas estructuras que serán ubicadas en una condición ambiental que favorece la pudrición y otros tipos de deterioro las piezas de madera deberán ser sometidas a un tratamiento de preservación antes de ser llevadas a la construcción. Los tratamientos están especificados en NCh630, NCh631, NCh755, NCh819, NCh1439. Cualquier tipo de rebaje, perforación o corte se debe hacer antes de aplicar el tratamiento de preservación.

b.- Todas aquellas estructuras de madera donde sus piezas no han sido llevadas a un tratamiento de preservación no deben tener contacto directo con hormigón, albañilería ni suelo ya que le pueden transmitir humedad, por lo cual se debe colocar cualquier tipo de material aislante que lo impida.

c.- Si la madera es sometida a procesos que debiliten sus capacidades mecánicas, se deberá aplicar un factor de modificación a las tensiones admisibles según el Anexo I de la norma NCh 1198 of 2006.

2.3.3.2.- Dimensionamiento de piezas estructurales de madera aserrada

2.3.3.2.1.- Tensiones y módulos de elasticidad de diseño

Las tensiones de diseño son el producto de la tensión admisible por los factores de modificación según le correspondan. Las tensiones admisibles se encuentran estipuladas en la tabla 2.14

El módulo de elasticidad de diseño es el producto de la elasticidad en flexión por los factores de modificación.

Tabla 2.14 Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para *Pinus radiata* seco H=12%, en MPa, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Grado estructural	**Tensiones admisibles de:**					**Módulo de elasticidad en flexión (Ef) ****	**Indice de aplastamiento en compresión normal (Ecn,h)**
	Flexión (Ff) *	**Compresión paralela (Fcp)**	**Tracción paralela (Ftp) ***	**Compresión normal (Fcn)**	**Cizalle (Fcz)**		
a).- Visuales:							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8900	
b).- Mecánicos:							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7900	

***:** se deben aplicar a piezas con una altura de 90mm.

****:** se deben aplicar a piezas con una altura ≥ 180mm. Efk (módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%) se puede estimar como 0,6 Ef

2.3.3.2.2.- Secciones transversales mínimas

El espesor mínimo de una pieza estructural debe ser 25mm, además la sección transversal mínima es 1500mm².

Para los entablados estructurales el espesor mínimo es de 16mm y la sección transversal mínima de 1100mm².

2.3.3.3.- Elementos en flexión

2.3.3.3.1.- Flexión uniaxial en vigas simples

- **Tensión de trabajo en flexión**

Se debe calcular según la siguiente expresión

$$F_f = \frac{M_{máx}}{W_n}; (MPa) \qquad \text{Ec. 2.39}$$

Con:

F_f: Tensión de trabajo de flexión en la fibra extrema, en Mpa.

$M_{máx}$: Momento máximo de flexión, en N·mm

W_n: Módulo de flexión de la sección transversal neta respecto al eje perpendicular al plano de flexión, en mm².

- **Tensión de diseño en flexión**

a.- En la zona flexotraccionada de piezas en flexión:

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_C \times K_{hf} \text{ ; en MPa} \qquad \text{Ec. 2.40}$$

$F_{ft,dis}$: Tensión de diseño en flexión en el borde traccionado, Mpa.

F_f: Tensión admisible en flexión, Mpa.

K_H: Factor de modificación por humedad.

K_D: Factor de modificación por duración de carga.

K_C: Factor de modificación por trabajo en conjunto.

K_{hf}: Factor de modificación por altura.

a.1.- Cálculo de factor de modificación por altura de la pieza (K_{hf})

Para las piezas de Pinus radiata con una altura mayor a 90mm:

$$K_{hf} = \left(\frac{90}{h}\right)^{1/5} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.41}$$

h: altura de la viga, en mm

b.- En la zona flexocomprimida de piezas en flexión:

$$F_{fv,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_C \times K_{\lambda v}\text{; en Mpa} \qquad \text{Ec. 2.42}$$

$F_{fv,dis}$: Tensión de diseño en flexión considerando volcamiento, Mpa.

F_f: Tensión admisible en flexión, Mpa.

K_H: Factor de modificación por humedad.

K_D: Factor de modificación por duración de carga.

K_C: Factor de modificación por trabajo en conjunto.

$K_{\lambda v}$: Factor de modificación por volcamiento.

b.1.- Cálculo de factor de modificación por volcamiento de la pieza ($K_{\lambda v}$)

Todas las piezas sometidas a flexión se deben apoyar lateralmente de modo de impedir desplazamientos laterales y rotaciones en torno al eje axial.

- Si la pieza sometida a flexión no tiene apoyo lateral el factor de modificación $K_{\lambda v}$=1, siempre que que la proporción (h/b) ≤2.

- Contrario al punto anterior se debe aplicar la siguiente expresión:

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + (F_{f,E}/F_{f,dis}*)}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{f,E}/F_{f,dis}*)}{1,9}\right]^2 - \frac{(F_{f,E}/F_{f,dis}*)}{0,95}} \qquad \text{Ec. 2.43}$$

$F_{f,dis}$ *: Tensión admisible de flexión que le han sido aplicados todos los factores de modificación excepto **$K_{\lambda v}$** y **K_{hf}.**

$$F_{f,E} = \frac{C_{fE} \times E_{dis}}{\lambda_v{}^2} \qquad \text{Ec. 2.44}$$

$$C_{fE} = 0,745 - 1,225(CV_E) \qquad \text{Ec. 2.45}$$

: 0,439 para madera aserrada con clasificación visual

: 0,561 para madera aserrada con clasificación mecánica

: 0,610 para productos con $CV_E \leq 0,11$

CV_E: Coeficiente de variación del módulo de elasticidad

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{l_v \times h}{b^2}} \qquad \text{Ec. 2.46}$$

l_v: Longitud efectiva de volcamiento, en mm

h: Altura de la viga, en mm

b: Espesor de la viga, en mm

La longitud efectiva de volcamiento l_v, se debe evaluar según la tabla 2.15:

Tabla 2.15 Longitud efectiva de volcamiento l_v, de elementos flexionados. Según (Norma NCh 1198 of 2006)

Vigas simplemente apoyadas	**Si $l_a/h \leq 7$**	**Si $l_a/h \geq 7$**
Carga uniformemente distribuida	2,06 $\mathbf{l_a}$	1,63l_a+ 3 h
Carga concentrada en el centro sin apoyo lateral intermedio	1,80$\mathbf{l_a}$	1,37l_a+ 3 h
Carga concentrada en el centre, con apoyo lateral en el centro.	1,11 $\mathbf{l_a}$	
Dos cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/3 c/u, con apoyo lateral en L/3	1,68 $\mathbf{l_a}$	
Tres cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/4 c/u, con apoyo lateral en L/4	1,54 $\mathbf{l_a}$	
Cuatro cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/5 c/u, con apoyo lateral en L/5	1,68 $\mathbf{l_a}$	
Cinco cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/6 c/u, con apoyo lateral en L/6	1,73 $\mathbf{l_a}$	
Seis cargas concentradas de igual magnitud aplicada en L/7 c/u, con apoyo lateral en L/7	1,78 $\mathbf{l_a}$	
Siete o más cargas concentradas de igual magnitud espaciadas uniformemente, con apoyo lateral en los puntos de aplicación de carga.	1,84 $\mathbf{l_a}$	
Momentos iguales y de distinto signo en los extremos	1,84 $\mathbf{l_a}$	
Vigas en voladizo	**Si $l_a/h < 7$**	**Si $l_a/h \geq 7$**
Carga uniformemente distribuida	1,33 $\mathbf{l_a}$	0,90l_a+ 3 h
Carga concentrada en extremo libre	1,87 $\mathbf{l_a}$	1,44l_a+ 3 h

l_a: distancia entre los apoyos laterales de las zonas flexocomprimida de la viga.

Si las vigas están simplemente apoyadas o en voladizo, con cargas que no se mencionaron en la tabla se debe aplicar las siguientes expresiones:

$$l_v = \begin{cases} 2{,}06\, l_a & \text{si} \quad l_a/h < 7 \\ 1{,}63\, l_a + 3\,\mathbf{h} & \text{si} \quad 7 \leq l_a/h \leq 14{,}3 \\ 1{,}84\, l_a & \text{si} \quad l_a/h > 7 \end{cases} \qquad \text{Ec. 2.47}$$

2.3.3.4.- Cizalle en vigas simples

Siempre la falla de las piezas en flexión es debido al cizalle longitudinal, por lo tanto no es necesario calcular cizalle vertical.

- **Tensión de trabajo de cizalle longitudinal**

La tensión máxima de trabajo para cizalle longitudinal se debe calcular:

$$f_{cz} = \frac{1{,}5 \times Q}{b \times h} \times 10^{-3};\ \text{MPa} \qquad \text{Ec. 2.48}$$

f_{cz}: Tensión de trabajo de cizalle longitudinal, en Mpa

Q: Esfuerzo de corte máximo, en kN

b: Longitud que está perpendicular a la dirección de la carga, en mm

h: Longitud paralela a la dirección de la carga, en mm

- **Tensión de diseño de cizalle longitudinal**

Para obtener la tensión de cizalle longitudinal se debe aplicar la siguiente expresión:

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r \ ;\ \text{en MPa} \qquad \text{Ec. 2.49}$$

$F_{cz,dis}$: Tensión de diseño de cizalle longitudinal, en Mpa.

F_{cz}: Tensión admisible de cizalle longitudinal, Mpa.

K_H: Factor de modificación por humedad.

K_D: Factor de modificación por duración de carga.

K_r: Factor de modificación por rebaje de la pieza.

2.3.3.4.1.- Rebajes en los apoyos

Si las vigas tienen rebajes superiores o inferiores en sus extremos entonces se debe cumplir que:

$$\frac{f_{cz}}{F_{cz,dis}} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.50}$$

f_{cz}: Tensión de trabajo de cizalle longitudinal, en Mpa

$F_{cz,dis}$: Tensión de diseño de cizalle longitudinal, en Mpa.

i).- Vigas con rebaje inferior: se denotan en la figura 2.30:

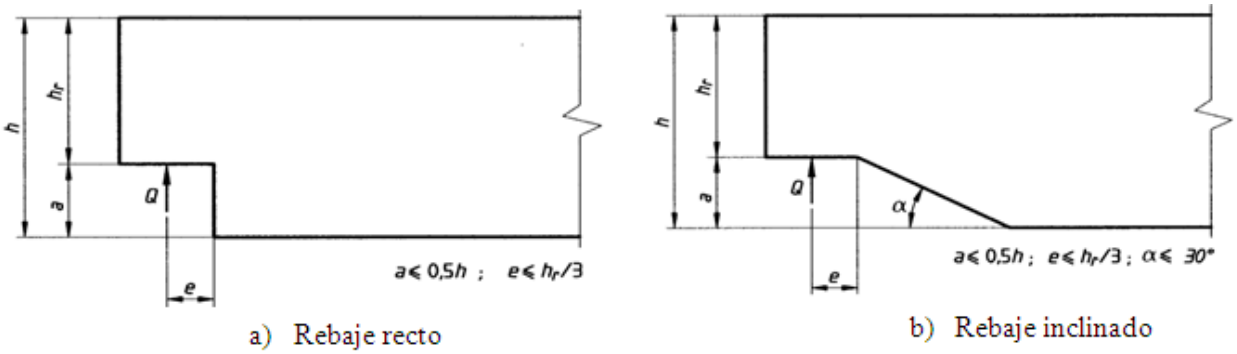


Figura 2.30 Vigas con rebaje inferior, según Norma NCh 1198 of 2006

Tabla 2.16 Factor de modificación por rebaje inferior K_r y K_{ri}, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Tipo de rebaje inferior	Valor del factor de modificación por rebaje inferior	Condición
Recto	$K_r = \left(\frac{h_r}{h}\right)^2$	$a \leq 0{,}5h$
Inclinado	$K_{ri} = \frac{h_r}{h}$	

ii).- Vigas con rebaje superior: se denotan en la figura 2.31:

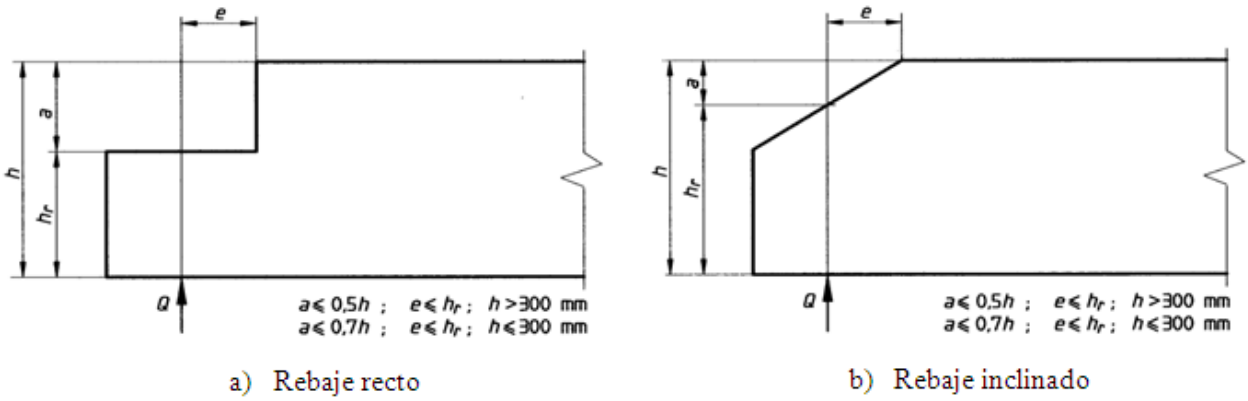


Figura 2.31 Vigas con rebaje superior, según Norma NCh 1198 of 2006

a) Tabla 2.17 Factor de modificación por rebaje inferior K_s, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Para el caso	Valor del factor de modificación por rebaje inferior	Condición
$e \leq h_r$	$K_{rs} = \left(1 - \frac{a}{h} \times \frac{e}{h_r}\right)$	$a \leq 0{,}5h$
$e > hr$	$K_{rs} = \frac{h_r}{h}$	

2.3.3.5.- Elementos en compresión paralela

Las siguientes aplicaciones se consideran sólo para piezas estructurales solicitadas de forma centrada por la carga que comprime.

2.3.3.5.1.- Longitud efectiva de pandeo (l_p)

Es la longitud entre dos puntos de inflexión que son adyacentes en los cuales el elemento comprimido se deforma como una curvatura simple, en la 2.32 se observan las distintas longitudes efectivas para cada configuración de pandeo:

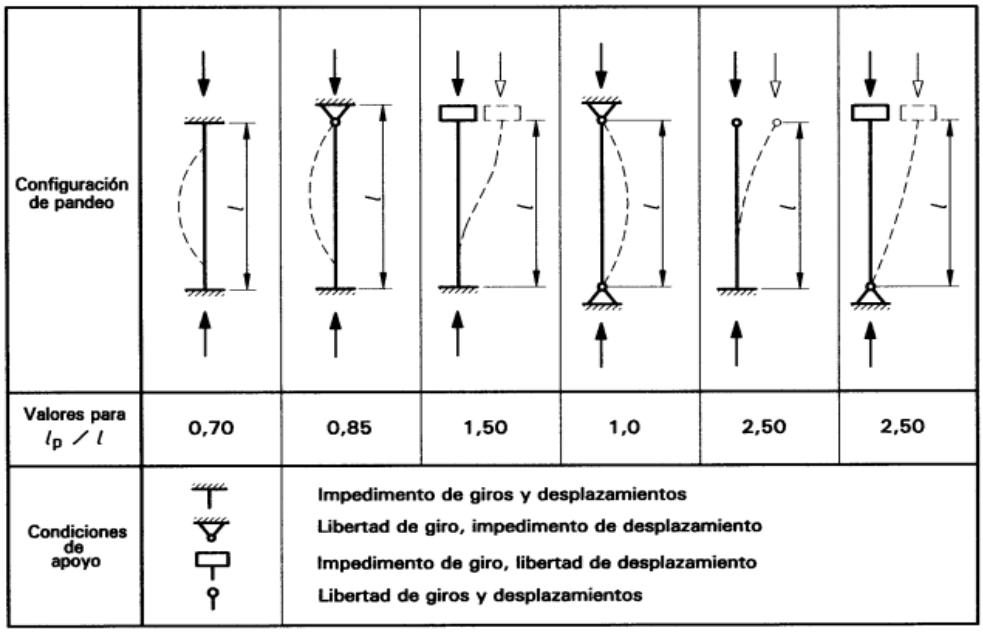


Figura 2.32 Longitudes efectivas de pandeo,l_p, de piezas comprimidas, según Norma NCh 1198 of2006

2.3.3.5.2.- Restricciones de esbeltez

Se define la esbeltez como:

$$\lambda = \frac{l_p}{i} \quad \begin{cases} \leq 170\text{: para piezas principales.} \\ \leq 200\text{: para elementos bajo cargas eventuales en sistemas arriostrados.} \end{cases} \qquad \text{Ec. 2.51}$$

2.3.3.5.3.- Piezas simples

- Tensión de trabajo

Definida según la siguiente expresión:

$$f_{cp} = \frac{N}{A} \times 10^3;\ \text{MPa} \qquad \text{Ec. 2.52}$$

f_{cp} : Tensión de trabajo por compresión, en Mpa

N: Carga axial aplicada, en kN

A: Área de la sección transversal, en mm².

- Tensión de diseño

a).- Siempre que se cumpla que $\lambda<10$; se debe aplicar la siguiente expresión:

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \times K_H \times K_D;\ \text{en Mpa} \qquad \text{Ec. 2.53}$$

$F_{cp,dis}$: Tensión de diseño en compresión paralela, en Mpa.

F_{cp}: Tensión admisible en compresión paralela, Mpa.

K_H: Factor de modificación por humedad.

K_D: Factor de modificación por duración de carga.

b).- Si $\lambda \geq 10$, entonces se debe aplicar la siguiente expresión:

$$F_{cp,\lambda,dis} = F_{cp,dis} \times K_{\lambda}; \text{ en Mpa} \qquad \text{Ec. 2.54}$$

$F_{cp,\lambda,dis}$: Tensión de diseño en compresión paralela considerando inestabilidad lateral, en Mpa.

$F_{cp,dis}$: Tensión de diseño en compresión paralela (según el punto anterior), Mpa.

K_{λ}: Factor de modificación por esbeltez.

2.3.3.5.4.- Factor de modificación por esbeltez, K_{λ}

El factor de modificación por esbeltez se define como:

$$K_{\lambda} = A - \sqrt{A^2 - B} \qquad \text{Ec. 2.55}$$

$$A = \frac{\frac{F_{cE}}{F_{cp,dis}} \times \left(1 + \frac{\lambda}{200}\right) + 1}{2 \times c} \qquad \text{Ec. 2.56}$$

$$B = \frac{F_{cE}}{c \times F_{cp,dis}} \qquad \text{Ec. 2.57}$$

$$F_{cE} = \frac{3{,}6 \times E_{dis}}{\lambda^2} \qquad \text{Ec. 2.58}$$

c: Coeficiente de proporcionalidad, según tabla 2.18

E_{dis}: Módulo de elasticidad de diseño, en Mpa.

$F_{cp,dis}$: Tensión de diseño en compresión paralela, Mpa.

λ: esbeltez reguladora del diseño.

Tabla 2.18 Valores del coeficiente de proporcionalidad, c. Según (Norma NCh 1198 of 2006)

Clasificación visual	**Coeficiente de proporcionalidad 'c'**
Grado estructural	
Nº1	0,85
Nº2, GS,G1	0,85
Nº3	0,80
Nº4, G2	0,80

2.3.3.6.- Elementos en tracción paralela

- Tensión de trabajo

Para obtener la tensión de trabajo en tracción paralela, se debe aplicar la siguiente expresión:

$$f_{tp} = \frac{T}{A_n} \times 10^3 \qquad \text{Ec. 2.59}$$

f_{tp}: Tensión de trabajo en tracción paralela, en Mpa

T: Solicitación de tracción axial, en kN.

A_n: Área neta de la sección, en mm².

($A_n \geq 75\%$ de la sección transversal bruta)

- Tensión de diseño

La tensión de diseño en tracción paralela se debe calcular según la siguiente expresión:

$$F_{tp,dis} = F_{tp} \times K_H \times K_D \times K_{hf} \times K_{ct} \qquad \text{Ec. 2.60}$$

$F_{tp,dis}$: Tensión de diseño en tracción paralela, Mpa.

F_{tp}: Tensión admisible en tracción paralela, Mpa.

K_H: Factor de modificación por humedad.

K_D: Factor de modificación por duración de carga.

K_{hf}: Factor de modificación por altura.

K_{ct}: Factor de modificación por concentración de tensiones.

2.3.3.6.1.- Factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct}

Este factor se aplica a piezas donde la concentración de tensiones se ubica en perforaciones, entallados o en cualquier tipo de debilitamiento de la pieza, para ello se debe buscar el factor K_{ct} en la tabla 2.19:

Tabla 2.19 Valores del factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct}, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Tipo de debilitamiento	Madera aserrada
Perforaciones pequeñas y uniformemente distribuidas (clavos)	0,8
Perforaciones individuales mayores (pernos)	0,7
Conectores de anillo	0,5
Ranuras longitudinales: espesor ≤ 5 mm	0,8
Ranuras longitudinales: espesor ≤ 10 mm	0,7

2.3.3.7.- Elementos sometidos a esfuerzos combinados

2.3.3.7.1.- Flexión y tracción axial

Debido a estos esfuerzos combinados se debe verificar lo siguiente:

a).- Zona traccionada:

$$\frac{f_{tp}}{f_{tp,dis}} + \frac{f_f}{f_{ft,dis}} \leq 1{,}0 \qquad \text{Ec. 2.61}$$

b).- Zona comprimida:

$$\frac{f_f - f_{tp}}{f_{fv,dis}} \leq 1{,}0 \qquad \text{Ec. 2.62}$$

Donde:

f_{tp}: Tensión de trabajo por tracción paralela, en MPa.

f_f: Tensión de trabajo por flexión, en MPa.

$f_{tp,dis}$: Tensión de diseño por tracción paralela, en MPa.

$f_{ft,dis}$: Tensión de diseño en flexión, en el borde traccionado, en MPa.

$f_{fv,dis}$: Tensión de diseño en flexión, considerando inestabilidad por volcamiento, en MPa.

2.3.3.7.2.- Flexión y compresión paralela

Debido a esta combinación de esfuerzos se debe verificar la siguiente expresión:

$$\left(\frac{f_c}{f_{c\lambda,dis}}\right)^2 + \frac{f_{fx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cEx}}\right) \times F_{fx,dis}} + \frac{f_{fy}}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cEy}} - \left(\frac{f_{fx}}{F_{fE}}\right)^2\right] \times F_{fy,dis}} \leq 1 \qquad \text{Ec. 2.63}$$

Donde:

$$f_c < F_{cEx} = \frac{3{,}6 \times E_{x,dis}}{\lambda_x^2};\ \text{para flexión simple y desviada} \qquad \text{Ec. 2.64}$$

$$f_c < F_{cEy} = \frac{3{,}6 \times E_{y,dis}}{\lambda_y^2};\ \text{para flexión desviada} \qquad \text{Ec. 2.65}$$

$$f_{fx} < F_{fE} = 0{,}44 \times \frac{E_{y,dis}}{\lambda_v^2};\ \text{para flexión desviada} \qquad \text{Ec. 2.66}$$

Definiendo:

$\mathbf{f_c}$**:** Tensión efectiva de compresión paralela.

$\mathbf{f_{fx}}$**:** Tensión efectiva de flexión de canto.

$\mathbf{f_{fy}}$**:** Tensión efectiva de flexión de cara.

$\mathbf{f_{c\lambda,dis}}$**:** Tensión de diseño admisible en compresión paralela (modificada por la esbeltez mayor).

$\mathbf{F_{fx,dis}}$**:** Tensión de diseño admisible en flexión, para cargas aplicadas en el canto.

$\mathbf{F_{fy,dis}}$**:** Tensión de diseño admisible en flexión, para cargas aplicadas en la cara.

$\mathbf{E_{x,dis}}$**:** Módulo de elasticidad de diseño para flexión en torno al eje x.

$\mathbf{E_{y,dis}}$**:** Módulo de elasticidad de diseño para flexión en torno al eje y.

$\boldsymbol{\lambda_x = \frac{L_{Px}}{i_x}}$**;** Esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas sobre el canto.

$\boldsymbol{\lambda_x = \frac{L_{Py}}{i_y}}$**;** Esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas sobre la cara.

$\boldsymbol{\lambda_v}$**:** Esbeltez de volcamiento.

$\mathbf{F_{fE}}$:Tensión de diseño de volcamiento elástico en vigas.

2.3.3.8.- Control de deformaciones

La deformación máxima admisible de un elemento sometido a flexión se adopta de acuerdo a la tabla 2.20:

Tabla 2.20 Deformaciones máximas admisibles en vigas de madera, según (Norma NCh 1198 of 2006)

Tipo de vigas	**Deformaciones máximas admisibles considerando**	
	Exclusivamente sobrecarga	**Peso propio más sobrecarga**
1. Vigas de techo:		
1.1 Construcciones industriales y agrícolas	-	L/200 o L/400*
1.2 Oficinas y construcciones habitacionales	L/360	L/300
1.2.1 Con cielos enyesados o similares	-	L/300
1.2.2 Sin cielos enyesados o similares		
2. Vigas de piso:		
2.1 Construcciones en general	L/360	L/300
2.2 Pasarelas peatonales	-	L/400 o L/1200*
L= luz efectiva de la viga.		
*= la restricción mayor rige para sistemas enrejados, cuando se aplique el cálculo de flecha aproximado		

La contraflecha para madera seca (H < 20%) debe ser de una magnitud de al menos L/300 y para madera semiseca o verde L/200. Para voladizos debe ascender al menos a L/150.

- **Deformaciones de flujo plástico en el tiempo (creep)**

Para piezas solicitadas a flexión, cuando las solicitaciones permanentes ‘g’, excedan el 50% de la solicitación total ‘q’, entonces la verificación de la flecha debe incorporar la deformación por creep.

$$\frac{g}{q} > 0{,}50 \qquad Ec.2.67$$

La deformación total de una pieza flexionada δ_{tot} se calcula de la siguiente forma:

$$\delta_{tot} = \delta_e \left(1 + \rho \times \frac{g}{q}\right) \text{ mm} \qquad \text{Ec. } 2.68$$

δ_e: Deformación elástica instantánea determinada por la totalidad de las cargas que solicitan las piezas, en mm.

ρ: Factor de creep.

$$\rho = \frac{1}{k_g} - 1 \qquad \text{Ec. 2.69}$$

g: componente de carga de naturaleza permanente.

q: carga total de diseño.

$$K_g = \begin{cases} \frac{3}{2} - \frac{g}{q}; \text{para H} < 15\% \\ \\ \frac{5}{3} - \frac{4}{3} \times \frac{g}{q}; \text{para H} \geq 15\% \end{cases} \qquad \text{Ec. 2.70}$$

Para vigas donde la relación L/h < 20 se debe incorporar para la verificación de la flecha la deformación por corte 'δ_Q', el cual se estima de la siguiente forma:

$$L/h < 20; \qquad \text{Ec. 2.71}$$

$$\delta_Q = \frac{1{,}2\ M}{GA} \times 10^{-6}; \text{en mm} \qquad \text{Ec. 2.72}$$

M: momento flector máximo, en kN•M

G: módulo de corte, MPa

A: sección transversal de la viga; en mm^2

Si se debe considerar la deformación por creep, entonces la deformación por corte total '$\delta_{Q,tot}$' define como:

$$\delta_{Q,tot} = \delta_Q \left(1 + 2\delta \frac{g}{q}\right) \qquad \text{Ec. 2.73}$$

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA

3.1.- Material y método

El material madera utilizado en este trabajo corresponde a la especie *Pinus radiata*, de dos escuadrías 2"x4" y 2"x2", y fue adquirido a través de dos Pymes Valdivianas seleccionadas al azar. El material fue preparado por estas barracas con su metodología tradicional.

Para el ensayo mecánico y para que la madera esté en óptimas condiciones fueron necesarios los siguientes equipos e instrumental: xilohigrómetro, balanza de precisión 0,001 gr, estufa de secado, cámara de climatizado, desecador y máquina universal de ensayos.

Para este capítulo, se debió ocupar la norma NCh 987 correspondiente a la norma de ensayo de flexión estática, NCh 176/1 of 1984 para la determinación de humedad, NCh 176/2 of 1984 para la determinación de la densidad y la norma NCh 969 of 1986 que determina las condiciones generales para los ensayos.

Se ensayaron las piezas a flexión estática en el laboratorio del Instituto de Tecnología de Productos Forestales. La máquina universal de ensayos está conectada a un software que recoge los datos del ensayo (deformación v/s carga) y la carga máxima de ruptura la entrega la máquina en sí.

Luego de terminar el ensayo mecánico se determinó la densidad y humedad que tenían las probetas ensayadas.

Se confeccionaron las tablas de datos deformación v/s carga para cada pieza con sus respectivas graficas, de las cuales se obtuvo el MOE. Para determinar el MOE de cada pieza se trazó una recta en la zona elástica de la curva deformación v/s carga y así obtener la pendiente, ver Anexo A.

Tanto los datos físicos como mecánicos obtenidos desde la muestra de madera para ambas escuadrías fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo, ver Anexo D.

Finalmente se realizó una clasificación mecánica de la madera proveniente de las Pymes seleccionadas al azar, mediante la norma UNE 338 que considera el MOE como factor para la

clasificación. Una vez obtenido el grado estructural de la madera por análisis mecánico por UNE 338, este se utilizó para obtener las tensiones admisibles por norma Chilena NCh 1198.

3.2.- Resultados y discusión

3.2.1.- Comparación de los proveedores en función de las propiedades físicas y mecánicas de la madera

3.2.1.1.- Densidad

Según los resultados obtenidos, observando las densidades promedios se ha propuesto el grafico 3.1 que compara las densidades de las barracas según la escuadría.

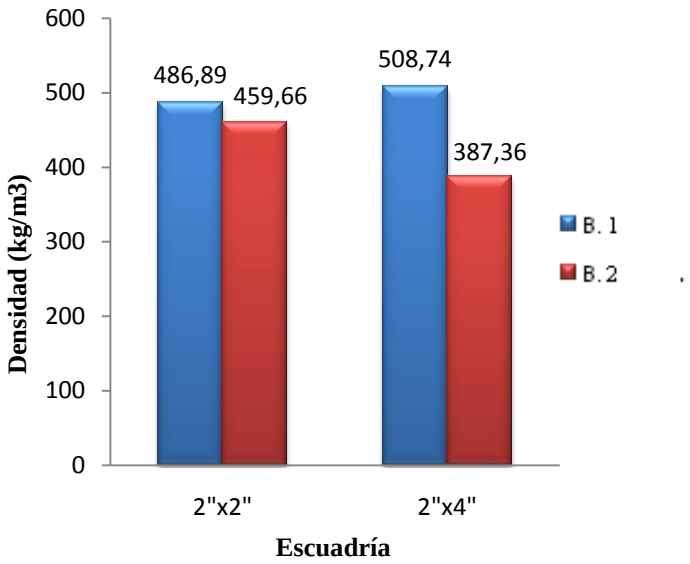


Figura 3.1 Comparación de densidades promedios según escuadría

Como vemos la mejor calidad de densidad se obtiene de Barraca 1, por lo que se verá reflejado como ya sabemos en el MOE, que según lo estudiado en el marco teórico tendremos MOE más altos y por lo tanto mejores características mecánicas.

La principal razón de la variabilidad de las densidades se debe tanto a la edad de corta como la zona dentro del árbol de donde proviene la madera.

3.2.1.2.- Tensión máxima de rotura en flexión

Según los valores característicos obtenidos para la tensión máxima de rotura en flexión de acuerdo al Anexo D, se propuso el grafico 3.2 que compara la tensión de ambas barracas según la escuadría:

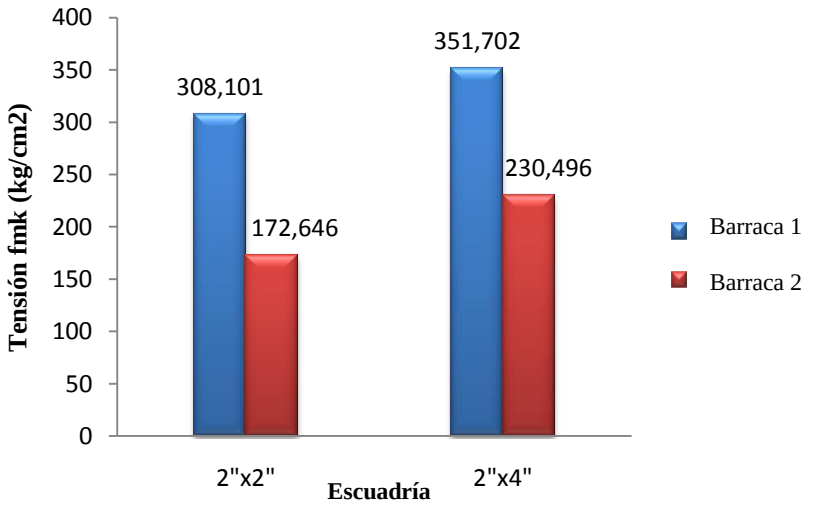


Figura 3.2 Comparación de tensión máxima característica según la escuadría

Se observa una gran diferencia entre ambas barracas, la Barraca 1 posee los valores más altos en ambas escuadrías, lo que nos da una mejor resistencia estructural a flexión.

Varios factores afectaron estos resultados, pero visualmente se denota que un gran porcentaje de las piezas de la Barraca 2 poseen madera central y presencia de nudos lo que afecta los desempeños mecánicos. A continuación se muestra la presencia de medula, nudos y desviación de la fibra de las piezas provenientes de Barraca 2 en la figura 3.3:

Figura 3.3 A la izquierda hay presencia de médula y nudosidades, a la derecha desviación de la fibra y nudo central en la pieza

3.2.2.- Comparación de los proveedores en función de la clasificación mecánica

Se puede ver en la tabla 3.1 la caracterización y clasificación de piezas de madera de escuadría 2”x4” según el proveedor.

Las piezas de sección 2”x4” arrojaron MOE muy bajos; para Barraca 1 promediaron un 34488 kg/cm^2 y para Barraca 2 obtuvo un 25231 kg/cm^2, a simple vista se pudo deducir que algunas de las razones de estos resultados son la presencia de madera central y nudos. Lo anterior nos indica que es sumamente importante la clasificación previa de la madera para obtener mejores desempeños mecánicos en su caracterización.

Tabla 3.1 Caracterización y clasificación de piezas de madera de 2”x 4” según proveedor

Proveedor	**Humedad (%)**	**Densidad (Kg/m³)**	**Qmax (Kg)**	**Rf (kg/cm2)**	**MOE (kg/cm2)**	**UNE 338**
Barraca 1	17,68	474,81	1.914,5	402,045	34944,75	--
	17,88	473,66	1.775,5	372,855	32421,02	--
	18,56	545,19	2.131,0	447,51	36131,59	--
	17,85	552,12	2.074,0	435,54	37067,39	--
	18,77	566,74	2.169,5	455,595	38009,70	--
	19,07	561,98	1.958,0	411,18	34361,88	--
	18,43	471,20	2.042,0	428,82	34900,79	--
	18,69	461,68	1.630,5	342,3	31482,80	--
	18,47	519,00	1.865,5	391,65	35164,73	--
	17,82	446,74	1.820,5	382,305	33471,99	--
	17,81	514,31	1.976,0	414,96	31418,49	--
Barraca 2	11,93	374,96	1.152,5	242,025	24.545,57	--
	11,94	377,26	1.404,0	294,84	25.912,99	--
	12,01	421,16	1.352,0	283,92	37.171,47	--
	11,92	367,00	1.549,0	325,29	29.669,47	--
	13,36	372,80	1.314,0	275,94	11.574,75	--
	14,40	425,63	1.823,5	382,935	29.641,87	--
	13,35	360,48	1.423,0	298,83	16.657,59	--
	12,88	436,23	1.725,5	362,355	33.542,75	--
	13,79	365,64	1.324,5	278,145	15.234,78	--
	12,30	372,46	1.297,0	272,37	28.365,31	--

Se puede apreciar entonces en la tabla 3.1 que la madera proveniente de la muestra no clasifica en ningún de los dos grados estructurales mecánicos que define la norma, C16 y C24.

En relación a la escuadría 2”x2” la situación es diferente a la presentada en la tabla 3.1 para la escuadría 2”x4”. En la tabla 3.2 se puede ver que los MOE obtenidos para la escuadría 2”x2” generan los grados definidos por la norma Chilena.

Tabla 3.2 Caracterización y clasificación de piezas de madera de 2”x 2” según proveedor

Proveedor	**Humedad (%)**	**Densidad (Kg/m³)**	**Qmax (Kg)**	**Rf (kg/cm2)**	**MOE (kg/cm2)**	**UNE 338**
Barraca 1	16,63	435,73	389,0	326,76	67304,60	--
	15,50	541,29	676,0	567,84	88171,18	C16
	15,18	531,17	632,5	531,3	93478,36	C18
	15,99	416,56	385,5	323,82	52974,78	--
	15,32	482,35	675,0	567	85672,25	C16
	15,25	516,11	650,0	546	88006,85	C16
	16,31	456,87	550,0	462	69602,73	--
	16,13	512,45	665,0	558,6	96532,61	C20
	15,76	462,69	417,0	350,28	64741,19	--
	16,95	456,92	618,0	519,12	96442,45	C20
	14,87	543,66	781,5	656,46	111233,04	C24
Barraca 2	11,38	326,62	417,0	350,28	51.661,45	--
	11,75	472,58	786,0	660,24	93.896,47	C18
	11,99	519,62	778,5	653,94	92.749,84	C18
	11,58	502,46	823,5	691,74	99.879,16	C20
	11,87	336,93	211,5	177,66	46.596,85	--
	11,37	390,88	212,5	178,5	38.645,72	--
	12,84	503,55	611,0	513,24	65.826,47	--
	11,87	511,94	739,0	620,76	88.367,86	C16
	12,18	527,42	743,0	624,12	108.669,23	C22
	11,59	321,60	352,0	295,68	60.915,03	--
	11,26	465,34	611,5	513,66	84.781,14	C16
	16,42	636,96	853,0	716,52	89.440,41	C16

Las diferencias entre las escuadrías estudiadas en relación al grado estructural mecánico, se deben principalmente a la menor frecuencia de defectos en estas maderas lo que permitió la clasificación según norma de aquellas piezas con mayor densidad y libre de defectos.

La natural heterogeneidad de la madera se acentúa aun mas cuando no existe el proceso de clasificación previo lo que hace difícil obtener una estructura de calidad durable en el tiempo.

Al obtener la grado estructural según el módulo de elasticidad, nos damos cuenta a simple vista que la mayoría de las piezas de 2”x2” de ambas barracas clasifican en alguna clase resistente, debido a que no presentan demasiados defectos. En cambio las piezas de 2”x4” no clasifican en ninguna clase estructural por su baja calidad, alta presencia de madera central y nudos.

A continuación la figura 3.3 presenta los porcentajes de participación del grado estructural mecánico en la escuadría 2” x 2”:

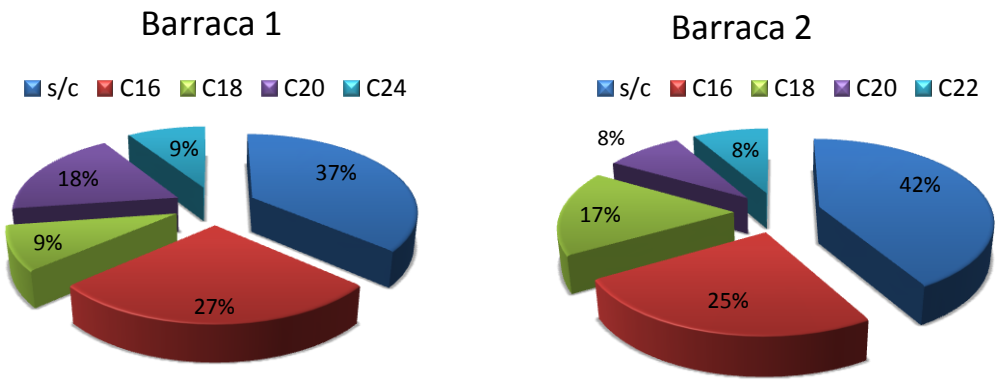


Figura 3.3 Porcentajes de participación del grado estructural mecánico en la escuadría 2” x 2”

Vemos que alrededor del 40% de las piezas de 2”x2” queda sin clasificar, quedando aproximadamente sólo el 60% de las piezas en determinadas clases resistentes, la mayoría de las piezas que clasifica (alrededor de un 25%) pertenece a la clase C16; la cual sería nuestra clase predominante.

CAPITULO IV

CÁLCULO DE UNA ESTRUCTURA POR MÉTODO ASD Y LRFD

4.1.- Material y método

Se debe tener claro que no se pretende diseñar una estructura a cabalidad, sólo a modo de ejemplo se tomarán a criterio los elementos más relevantes y más solicitados para aplicar ambos métodos.

Se usó Sap 2000 v.14 para modelar la estructura, debido a que es difícil manualmente obtener las tensiones debido a la acción sísmica (estática-dinámica) para los elementos.

Para lograr aplicar los método se estudiaron las normas de cálculo NCh 1198 para ASD y ASCE 16/95 para LRFD.

Antes de aplicar los métodos de cálculo para obtener las cargas que afectan los elementos de la estructura, se aplicó la norma de cálculo de acción del viento sobre construcciones NCh 432, la norma de cargas permanentes y sobrecargas de uso NCh 1537 y la norma de diseño sísmico de edificios según NCh 433, una vez obtenidas las cargas se procedió a evaluar los elementos seleccionados por ambos métodos de cálculo.

Se hizo el cálculo un edificio residencial de madera a través de los dos métodos; ASD según NCh 1198 Of 2006 (norma Chilena) y LRFD según ASCE 16/95 (norma norteamericana).

4.2.- Desarrollo y cálculo

4.2.1.- Generalidades de la estructura

La estructura corresponde a un edificio departamental de cuatro pisos; donde el primer nivel (estacionamiento) es de de hormigón armado con una superficie de 105.5 m^2, el 2º y 3º piso (habitacionales) de madera con una superficie de 105.5 m^2 c/u, el 4º piso (habitacional) de madera tiene un área total de 66,76 m^2. La altura de entrepisos será de 2.60 m, la altura total del edificio es de aprox. 10.4 m. Estará ubicado en la ciudad de Valdivia, donde la humedad de equilibrio es de 18%, y para nuestro caso usaremos una temperatura ambiente 15°C.

En la figura 4.1 se muestran dos elevaciones de arquitectura, lo que nos da una idea de la forma y proporciones del edificio.

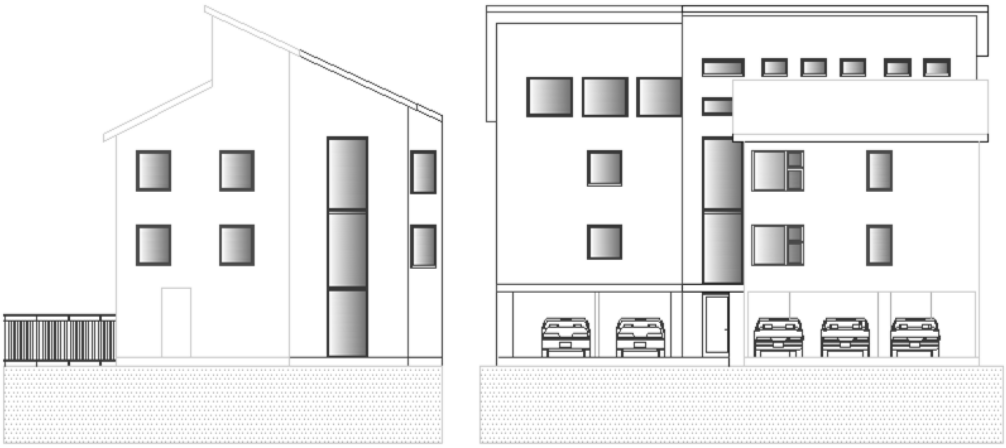


Figura 4.1 Elevaciones de arquitectura

El sistema estructural de madera está compuesto por vigas y pies derechos arriostrados por cadenetas y diagonales. La aislación térmica utiliza lana de vidrio en la tabiquería y la aislación acústica del entrepiso hormigón pobre de 5cm (con perlas de poliestireno). El revestimiento exterior es de fibrocemento y el revestimiento interior de volcanita de 15 mm.

La techumbre estará compuesta por un sistema de vigas y costaneras de madera cubierta por instapanel y OSB lo cual se muestra en la figura 4.2:

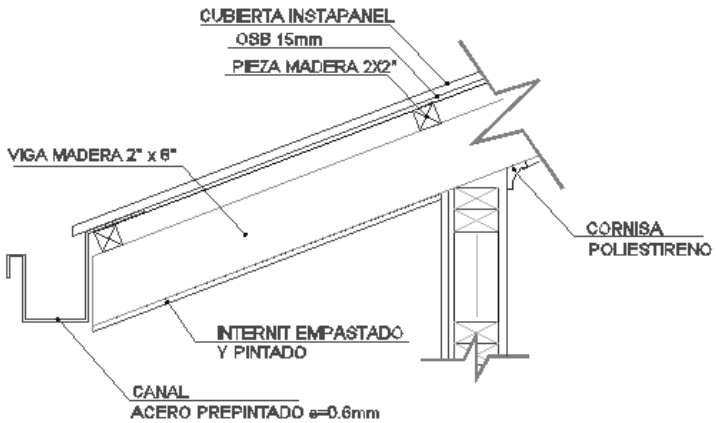


Figura 4.2 Detalle de arquitectura techumbre

En la figura 4.3 tenemos la descripción del material para entrepiso:

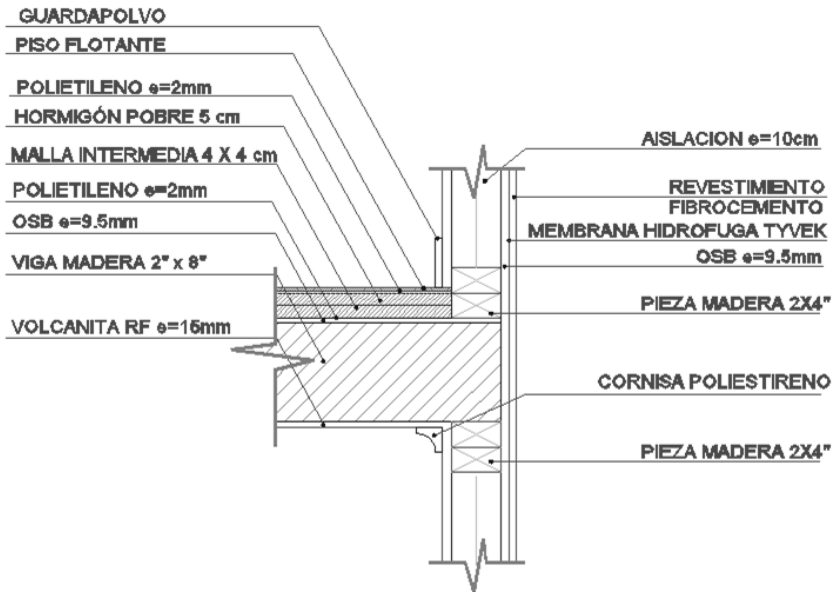


Figura 4.3 Detalle de entrepisos, materiales

Como ya tenemos los materiales que componen nuestra estructura podemos hacer la descripción de las cargas que la afectarán, estas cargas serán: permanentes, sobrecargas, viento y sismo. Por el lugar de ubicación se descartará las cargas de nieve.

4.2.2.- Propiedades de los materiales

- Madera de pino insigne (radiata) seco grado C16, según tabla 4.1:

Tabla 4.1 Tensiones admisibles para Pinus radiata grado C.16

	Peso volumétrico (kg/m^3)	Flexión	Cizalle	Tracción //	Compresión //	MOE en flexión	Coeficiente de poisson
T. admisible	460	5,2 MPa	1,1 MPa	3,5 MPa	7,5 MPa	7900 MPa	0,3

- Hormigón armado H25, 90% nivel de confianza;

f'c= 210 kg/cm^2

Peso volumétrico= 2500 kg/m^3

E= 210 000 kg/cm^2

- Acero del hormigón armado A63-42H;

fy= 2800 kg/cm^2

Peso volumétrico: 2850 kg/m^3

E= 2 100 000 kg/cm^2

4.2.3.- Cargas que afectan la estructura

4.2.3.1.- Cargas permanentes

- Entrepisos:

Piso flotante: despreciable.

Hormigón pobre 5cm: 17,5 kg/m^2

OSB de 9,5 mm: 7 kg/m^2

Volcanita e=15 mm: 13 kg/m^2

Viga de madera 2"x8":

Cadena 2"x2:

Carga a usar en Sap 2000 v.14:

$\sum$ cargas=37,5 kg/ m^2

- Paredes:

Fibrocemento: 9 kg/m^2

OSB de 9,5 mm: 7 kg/m^2

Volcanita e= 15 mm: 13 kg/m^2

Pie derecho 2"x4":

Cadena 2"x4":

Carga a usar en Sap 2000 v.14:

$\sum$ cargas=29 kg/ m^2

- Techo:

Instapanel: 8,2 kg/m^2

OSB de 15 mm: 10,5 kg/m^2

Viga de madera 2"x8":

Costanera 2"x3":

Carga a usar en Sap 2000 v.14:

$\sum$ cargas=18,7 kg/ m^2

4.2.3.2.-Sobrecargas: según la norma NCh 1537 Of 86

- Piso:

Sobrecargas para viviendas: 200 kg/ m^2

Sobrecarga para escalas: 250 kg/ m^2

- Techo:

El edificio tiene dos aguas donde una tiene una pendiente del 46,6% y la otra del 50,95%, la estructura de techumbre estará construida de tal forma que los elementos principales tendrán un área menor a 20 m^2. Por lo tanto la sobrecarga de techo será de:

Sobrecarga de techo: 30 kg/ m^2

4.2.3.3.-Cargas de viento: según la norma NCh 432 Of 71

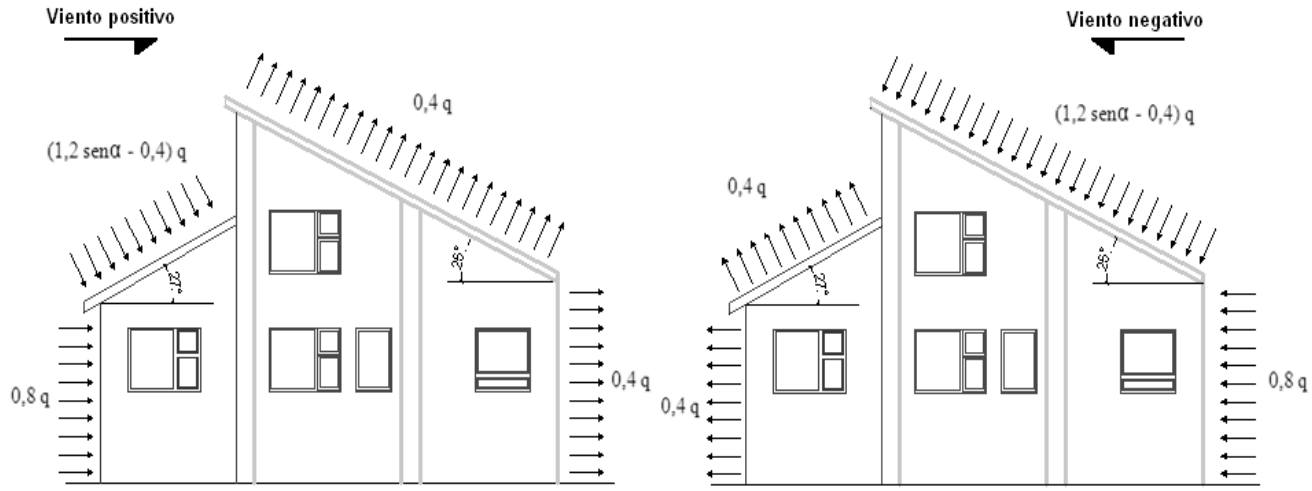


Figura 4.4 Cargas de viento

Para nuestro caso debido a la ubicación de la estructura la carga de viento q=70 kg/ m^2. Para cuando el viento golpee al hotel en dirección a la techumbre con una pendiente del 46,6% (25º) o sea en dirección del viento negativo, las cargas de viento serán las siguientes:

$$(1{,}2\ \text{sen}\alpha - 0{,}4)\ q = 7{,}5\ \text{kg/ m}^2$$

$$0{,}8\ q = 56\ \text{kg/ m}^2$$

$$0{,}4\ q = 28\ \text{kg/ m}^2$$

Si el viento golpea en la dirección contraria a la anterior (viento positivo), lo que quiere decir que presionará la techumbre de pendiente de 50,95% (27º). En este caso las cargas serán las siguientes:

$$(1{,}2\ \text{sen}\alpha - 0{,}4)q = 10{,}14\ \text{kg/ m}^2$$

$$0{,}8\ q = 56\ \text{kg/ m}^2$$

$$0{,}4\ q = 28\ \text{kg/ m}^2$$

Las cargas de los elementos estructurales que serán afectados por el viento serán introducidas al modelo hecho en el software Sap 2000 V. 14.

- Pies derechos: casi la totalidad de los pies derechos están a una distancia (ancho tributario) de 40 cm. Por lo tanto la carga lineal para c/u sería de:

$$0{,}8\ q = 56\ \text{kg/ m}^2 \rightarrow 56 \times 0{,}4 = 22{,}4\ \text{kg/ m}$$

$$0{,}4\ q = 28\ \text{kg/ m}^2 \rightarrow 28 \times 0{,}4 = 11{,}2\ \text{kg/m}$$

- Vigas de techo: las vigas de techo estarán distanciadas (ancho tributario) a 80 cm. Por lo que la carga lineal por la carga de viento será de:

$$(1{,}2\ \text{sen}25 - 0{,}4)\ q = 7{,}5\ \text{kg/ m}^2 \rightarrow 7{,}5 \times 0{,}8 = 6\ \text{kg/ m};\ \text{Viento negativo.}$$

$$(1{,}2\ \text{sen}27 - 0{,}4)q = 10{,}14\ \text{kg/ m}^2 \rightarrow 10{,}14 \times 0{,}8 = 8{,}11\ \text{kg/ m};\ \text{Viento positiva.}$$

$$0{,}4\ q = 28\ \text{kg/ m}^2 \rightarrow 28 \times 0{,}8 = 22{,}4\ \text{kg/m};\ \text{según corresponda.}$$

Al analizar el modelo introducido en Sap 2000 v.14, el viento positivo es el más desfavorable para la estructura.

4.2.3.4.-Cargas sísmicas: según la norma NCh 433 Of 96

Según nuestros antecedentes y la norma NCh 433, se emplearán los siguientes valores para el cálculo de las cargas sísmicas:

- Categoría de edificio: C , entonces I= 1,0
- Tipo de suelo: III, entonces:

  S= 1,2

  T_o= 0,75

  T'= 0,85

  n= 0,80

  p= 0,6
- Zona sísmica: 3, entonces A_0= 0,40 g; Z=1,00
- Muros y sistemas arriostrados:

  Si hormigón armado: R= 7 y R_0 =11

  Si madera: R= 5,5 y R_0 =7

Se debe cumplir que C debe ser mayor a:

$$C > \frac{A_0}{6 \times g} = \frac{0{,}40 \times g}{6 \times g} = 0{,}067$$

Los valores máximos del coeficiente sísmico C:

$$R = 5{,}5 \rightarrow C_{max} = \frac{0{,}40 \times S \times A_0}{g} = 0{,}208$$

$$R = 7 \rightarrow C_{max} = \frac{0{,}35 \times S \times A_0}{g} = 0{,}182$$

i.- Análisis estático

Será necesario hacer un análisis estático para ver como se ve afectada la estructura y posteriormente ser comparada con el análisis dinámico.

Tenemos que el corte basal está definido como:

$$Q_0 = C \times I \times P$$

$$C = \frac{2{,}75 \times A_0}{g \times R} \times \left(\frac{T'}{T^*}\right)^n$$

T^*: es el período con mayor masa traslacional en la dirección del análisis.

Para estructuras de no más de 5 pisos que es nuestro caso, las fuerzas sísmicas horizontales se calcularon siguiendo las siguientes expresiones:

$$F_k = \frac{A_k \times P_k}{\sum_{j=1}^{N}(A_j \times P_j)} \times Q_0$$

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{H}}$$

- **Cálculo del análisis estático**

Para nuestra estructura el periodo asociado a la mayor masa traslacional obtenido del modelo en Sap 2000 v.14 es:

T^*=0,136323

PPtotal= cargas muertas = 79,435 (hor) + 56,78 (mad) = 136,215 (ton)

SCtotal= 4,112 (SCt) + 63,79 (SCp)= 67,9 (ton)

Para obtener el corte basal necesitamos el valor 'P' que está definido para la mayoría de los casos como:

P = PPtotal + 0,25SCtotal

P= 153,19(ton)

Calculamos C:

$$C = \frac{2{,}75 \times 0{,}40 \times g}{g \times 5{,}5} \times \left(\frac{0{,}85}{0{,}136323}\right)^{0{,}80}$$

C=0,865 ➔ usamos C_{max}= 0,208

Q_0 = (0,208 × 1,0 × 68,41) + (0,182× 1,0× 84,76) = 29,66 (ton)

Ahora calcularemos las fuerzas horizontales del sismo por piso con H=780 (cm), lo cual genera la tabla 4.2:

Tabla 4.2: Fuerzas horizontales para el cálculo de sismo estático.

K	Z_k (cm)	A_k	P_k (ton)	F_k (ton)
1	260	0,1339	91,147	15,26
2	520	0,1589	26,191	5,20
3	780	0,2071	35,53	9,20

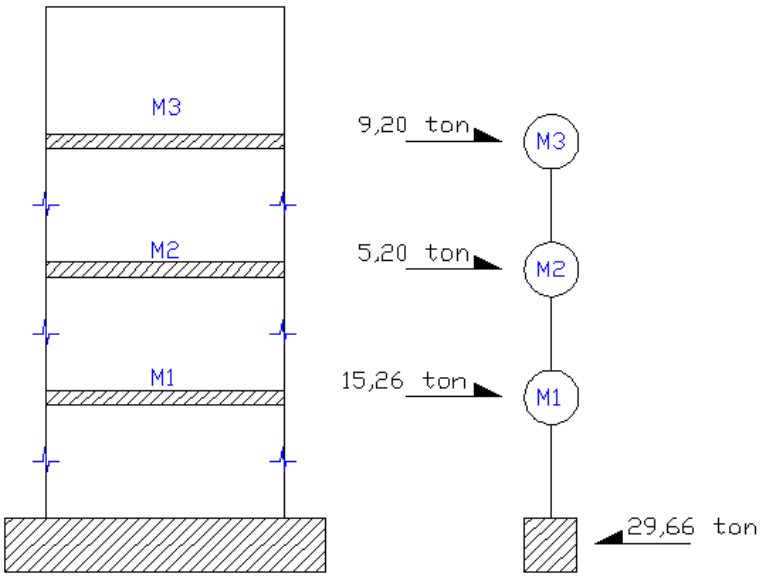


Figura 4.5 Distribución de cargas sísmicas

ii.- Análisis modal espectral

- **Espectro de diseño**

Según NCh 433 Of 96, el espectro de diseño que determina la resistencia sísmica de la estructura está determinado por:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{\left(\frac{R^*}{I}\right)}$$

La pseudoaceleración queda definida $S_{ae} = \alpha \times A_0$

$$\alpha = \frac{1 + 4{,}5 \times \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^P}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3}$$

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0{,}10 \times T_0 + \frac{T^*}{R_0}}$$

T_n: periodo de vibración en el modo 'n'.

- **Cálculo del espectro de diseño**

Tenemos que:

$$R^* = 1 + \frac{0{,}136323}{0{,}10 \times 0{,}75 + \frac{0{,}136323}{R_0}}$$

Si hormigón armado: R= 7 y R_0 =11

Si madera: R= 5,5 y R_0 =7

Vemos que el valor de R_0 más desfavorable es el del hormigón R_0= 11, entonces tenemos que:

$$R^* = 1 + \frac{0{,}136323}{0{,}10 \times 0{,}75 + \frac{0{,}136323}{11}} = 2{,}56$$

$$\alpha = \frac{1 + 4{,}5 \times \left(\frac{T_n}{0{,}75}\right)^{0{,}6}}{1 + \left(\frac{T_n}{0{,}75}\right)^{3}}$$

Entonces reemplazamos:

$$S_a = \frac{\alpha \times 0{,}40}{\left(\frac{2{,}56}{1{,}0}\right)} = 0{,}156 \times \alpha$$

Por lo tanto ahora podemos construir nuestro espectro de diseño en la tabla 4.3, en el cual vamos a adoptar un paso para el periodo de Δ= 0,005

Tabla 4.3: Período v/s Pseudoaceleración.

T_n	S_a
0,005	0,19073
0,01	0,20864
0,015	0,22313
0,02	0,23578
0,025	0,24721
0,03	0,25774
0,035	0,26759
0,04	0,27689
0,045	0,28572
0,05	0,29417
0,055	0,30227
0,06	0,31008
0,065	0,31762
0,07	0,32492
0,075	0,33200
0,08	0,33889
0,085	0,34558
0,09	0,35211
0,095	0,35848
0,1	0,36469
0,105	0,37076
0,11	0,37670
0,115	0,38251
0,12	0,38819
0,125	0,39375
0,13	0,39920
0,135	0,40454
0,14	0,40977

La tabla 4.3 fue introducida como archivo de texto al modelo trabajado en Sap 2000 v.14, al analizar la estructura por sismo estático y por el espectro, se obtuvo que la estructura se ve más afectada por el espectro del análisis dinámico. En consecuencia aquellos elementos que se vieron mayormente afectados por sismo, en su diseño estructural se tuvieron en cuenta las cargas debido al espectro del análisis dinámico.

4.2.5.- Representación del modelo construido en Sap 2000 v.14, según la figura 5.6

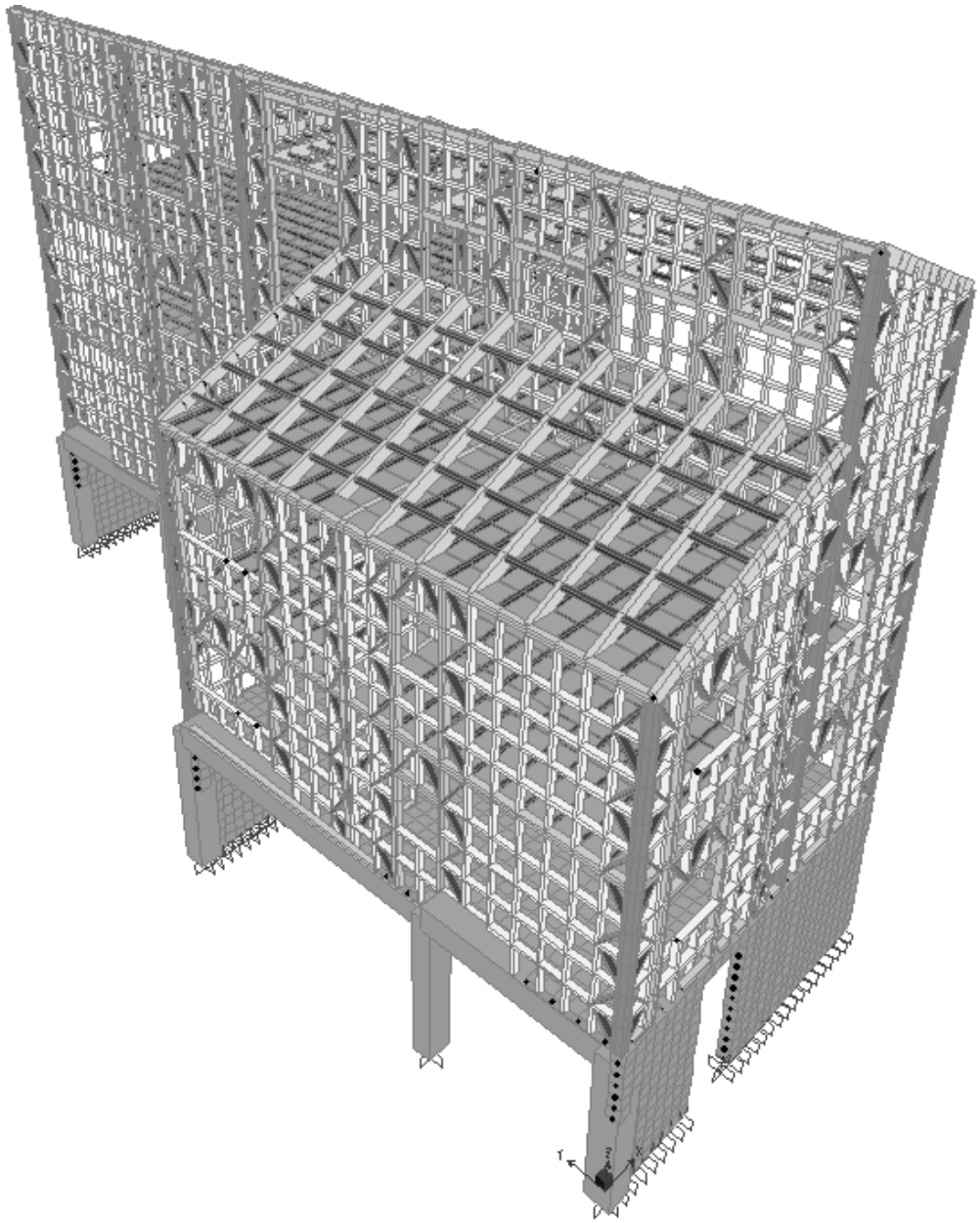


Figura 4.6 Modelo de la estructura en Sap 2000 V.14

4.3.- Cálculo de elementos estructurales principales a través de los métodos ASD y LRFD

Se diseñarán algunos elementos principales para demostrar la aplicación de ambos métodos y su comparación. Del modelo introducido en Sap 2000 V.14, se obtendrán las combinaciones más desfavorables y aquellos esfuerzos más difíciles de determinar manualmente, tales como las combinaciones que incorporan el sismo.

4.3.1.- Vigas de piso

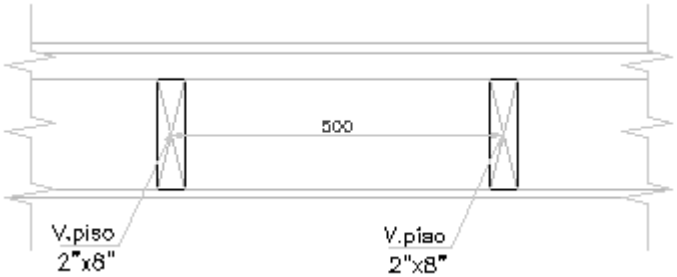
La viga de piso más solicitada tiene las siguientes propiedades:

2"x 8"@ 50 cm	
b	4,5 cm
h	19,5 cm
L	340 cm
I	2780,58 cm^4
S	285,19 cm^3
A	87,75 cm^2
F_f	5,2 MPa
F_{cz}	1,1 MPa
E_f	7900MPa
γ	460 kg/m^3

PP_{piso}= 37,5 kg/m^2

PP_{viga}= 460 x 0,045 x 0,195 = 4,04 kg/m

SC_{piso}= 200 kg/m^2



4.3.1.1- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles)

a.- Tensiones de trabajo

- Combinación más desfavorable= PP+SC

$$Q = 122,64 \text{ k/m}$$

$$M = \frac{122,64 \times 3,4^2}{8} = 177,215 \text{ (kg} \times \text{m)}$$

$$V_{max} = \frac{122,64 \times 3,4}{2} = 208,49 \text{ (kg)}$$

a.1.- Tensión de trabajo por flexión

$$F_{f,trab} = \frac{M}{S} = \frac{177{,}215}{285{,}19} = 62\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \qquad \text{según Ec. 2.39}$$

a.2.- Tensión de trabajo por cizalle

$$F_{cz,trab} = \frac{1{,}5 \times V_{max}}{b \times h} = \frac{1{,}5 \times 208{,}49}{87{,}75} = 3{,}56\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \qquad \text{según Ec. 2.48}$$

a.3.- Deflexión de trabajo

$$\Delta_{trab} = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 1{,}2264 \times 340^4}{384 \times 80580 \times 2780{,}58} = 0{,}95\ (cm)$$

- Deformación por corte:

$$\frac{340}{19{,}5} = 17{,}4 < 20;\ \text{se considera def. por corte;} \qquad \text{según Ec. 2.71}$$

$$G = \frac{E}{15} = 5372\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right);$$

$$\Delta_{corte} = \frac{1{,}2 \times 177215}{5372 \times 87{,}75} = 0{,}045\ (cm) \qquad \text{según Ec. 2.72}$$

- Deformación por Creep:

$$\frac{g}{q} = \frac{22{,}64}{122{,}64} = 0{,}184 < 0{,}5;\ \text{no se considera Creep;} \qquad \text{según Ec. 2.67}$$

- Deformación total:

$$\Delta_{total,trab} = 0{,}95 + 0{,}045 = 1{,}015\ (cm)$$

b.- Tensiones de diseño

b.1.- Tensión de diseño para flexión en la zona traccionada:

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{hf};\ \text{en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.40}$$

-Factores de modificación:

$$K_H = (1 - \Delta H \times \Delta R) = (1 - 6 \times 0{,}025) = 0{,}85 \qquad \text{según Ec. 2.36}$$

$$K_D = \frac{1{,}747}{t^{0{,}0464}} + 0{,}295 = 1; \text{para } t = 10 \text{ años} \qquad \text{según Ec. 2.37}$$

$$K_c = 1{,}15 \qquad \text{según Ec. 2.38}$$

$$K_{hf} = \left(\frac{90}{h}\right)^{1/5} = \left(\frac{90}{195}\right)^{1/5} = 0{,}857 \qquad \text{según Ec. 2.41}$$

$$F_{ft,dis} = 4{,}36 \text{ MPa} = 44{,}43 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.2.- Tensión de diseño para flexión en la zona comprimida:

$$F_{fv,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{\lambda v}; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.42}$$

-Cálculo del factor de modificación $K_{\lambda v}$:

$$l_v = 2{,}06 \times l_a = 2{,}06 \times 50 = 103 \text{ (cm)} \qquad \text{según tabla 2.15}$$

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{103 \times 19{,}5}{4{,}5^2}} = 9{,}96 \qquad \text{según Ec. 2.46}$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0{,}85 \times 1 = 6715 \text{ MPa} = 68493 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{f,E} = \frac{0{,}561 \times 68493}{9{,}96^2} = 387{,}34 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.44}$$

$$F^*_{f,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c = 5{,}2 \times 0{,}85 \times 1 \times 1{,}15 = 5{,}08 \text{ MPa} = 51{,}85 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + (387{,}34 / 51{,}85)}{1{,}9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (387{,}34 / 51{,}85)}{1{,}9}\right]^2 - \frac{387{,}34 / 51{,}85}{0{,}95}} = 0{,}99$$

según Ec. 2.43

$$F_{fc,dis} = 5{,}03 \text{ Mpa} = 51{,}33 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

La tensión de diseño para flexión a usar será la más desfavorable, en este caso la menor:

$$F_{f,dis} = 4{,}36\ \text{MPa} = 44{,}43\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.3.- Tensión de diseño por corte:

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r;\ \text{en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.49}$$

$$K_r = 1;\ \text{sin rebaje}$$

$$F_{cz,dis} = 0{,}985\text{MPa} = 9{,}54\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.4.- Deflexión de diseño:

$$\Delta_{dis} = \frac{L}{300} = \frac{340}{300} = 1{,}13\ (\text{cm}) \qquad \text{Según tabla 2.20}$$

c.- Verificación

Para verificar que el elemento no falle se debe calcular la relación tensión diseño por tensión de trabajo donde el resultado debe ser menor que 1 para que se verifique.

$$F_f = \frac{62}{44{,}43} = 1{,}39 > 1;\ \text{no aprueba}$$

$$F_v = \frac{3{,}56}{9{,}54} = 0{,}37 < 1;\ \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{1{,}015}{1{,}13} = 0{,}9 < 1;\ \text{correcto}$$

Por lo tanto este elemento no cumple con todos los requisitos, debido a la sobre exigencia de la tensión en flexión, por lo que se recomienda aumentar la altura de la sección, disminuir el ancho tributario o aumentar la calidad de la madera a un C24. Por ejemplo disminuiremos el ancho tributario:

$$F_{f,dis} = \frac{M}{S};\ 44{,}42 = \frac{M}{285{,}19};\ \text{entonces } Q = 0{,}88\ (\frac{kg}{cm})$$

$$37{,}5 \times a + 4{,}04 + 200 \times a = 88$$

$$a = 0{,}35\ (\text{m}) = 35\ (\text{cm})$$

4.3.1.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura)

a.- Solicitaciones de trabajo: combinación más desfavorable: 1,2 PP + 1,6 SC

$$Q = 1{,}2 \times 22{,}64 + 1{,}6 \times 100 = 187{,}168 \left(\frac{kg}{m}\right)$$

$$M_u = \frac{187{,}168 \times 3{,}4^2}{8} = 270{,}458 \text{ (kg x m)}$$

$$V_u = \frac{187{,}168 \times 3{,}4}{2} = 318{,}186 \text{ (kg)}$$

$$\Delta_u = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 1{,}2264 \times 340^4}{384 \times 80580 \times 2780{,}58} = 0{,}95 \text{ (cm)}; \quad Q \text{ no es mayorado.}$$

b.- Solicitaciones de diseño

b.1.- Momento flector

$$F_{f,dis} = F_f \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda; \text{ en MPa}$$

Calculo del factor de seguridad por volcamiento C_L:

$$C_L = \frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(F_{bEn}/F^*_{bn})}{0{,}95}}$$

$$\frac{l_u}{d} = \frac{50}{19{,}5} = 2{,}56 < 7; \; l_e = 2{,}06 \times l_u = 103 \text{ (cm)} \qquad \text{según tabla 2.10}$$

$$R_b = \sqrt{\frac{103 \times 19{,}5}{4{,}5^2}} = 9{,}96 \qquad \text{según Ec. 2.26}$$

$$E_{min}{}' = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480 \text{ MPa} = 96696 \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \quad \text{según Ec. 2.25}$$

$$F_{bEn} = \frac{1{,}2 \times 96696}{9{,}96^2} = 1169{,}69 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.24}$$

$$F^{*}_{bn} = 5{,}2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times 1{,}15 \times \frac{2{,}16}{0{,}85} \times 0{,}85 \times 0{,}8 = 8{,}27\ \text{MPa} = 84{,}32\ \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right);$$

según Ec. 2.27

$$C_L = \frac{1 + (1169{,}69/84{,}32)}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (1169{,}69/84{,}32)}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(1169{,}69/84{,}32)}{0{,}95}} = 0{,}99 \approx 1$$

según Ec. 2.23

$$F_{f,dis} = F^{*}_{bn} \times C_L = 84{,}32\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$M'_u = F_{f,dis} \times S = 84{,}32 \times 285{,}188 = 24047\ (\text{kg x cm}) = 240{,}47(\text{kg x m});\quad \text{según Ec. 2.20}$$

b.2.- Solicitación por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_{fv} \times Ø_v \times \lambda;\ \text{en MPa}$$

$$F_{cz,dis} = 1{,}1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}75} \times 0{,}75 \times 0{,}8$$

$$F_{cz,dis} = 1{,}52\ \text{MPa} = 15{,}51\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$V'_u = 2 \times F_{v,dis} \times \frac{A}{3} = 906{,}75\ (\text{kg}) \qquad \text{según Ec. 2.29}$$

b.2.- Deflexión

$$\Delta' = \frac{L}{240} = \frac{340}{240} = 1{,}42\ (\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.11}$$

c.- Verificación

$$M_f = \frac{270{,}458}{240{,}47} = 1{,}12 > 1;\ \text{no aprueba}$$

$$V = \frac{318{,}186}{906{,}75} = 0{,}35 < 1;\ \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}95}{1{,}42} = 0{,}67 > 1;\ \text{correcto}$$

Seguimos la misma conclusión del método ASD, y buscamos un ancho tributario que ayude a cumplir este elemento con los requisitos mínimos para el método LRFD. Entonces resolvemos la siguiente igualdad:

$$240{,}47 = \frac{Q_u \times 3{,}4^2}{8}; \quad Q_u = 166{,}415$$

$$166{,}415 = 1{,}2 \times (37{,}5 \times a + 4{,}04) + 1{,}6 \times (200 \times a); \quad a = 44(cm)$$

4.3.2.- Costaneras

La costanera más solicitada tiene las siguientes propiedades:

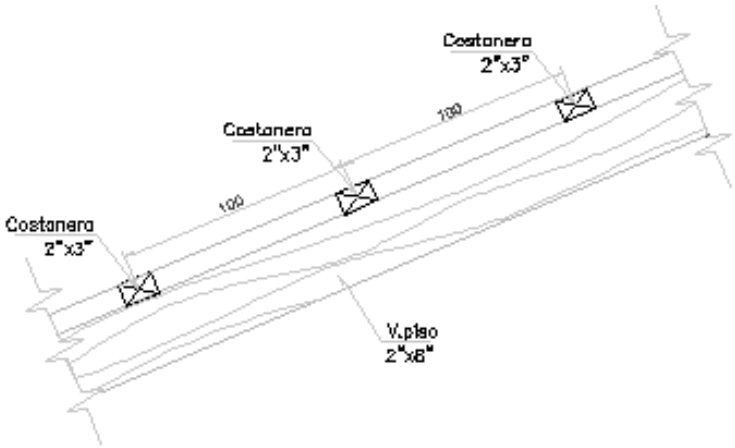
2"x 3"@ 100cm	
b	7 cm
h	4,5 cm
L	100 cm
I_{xx}	53,16 cm^4
I_{yy}	128,63 cm^4
S_{xx}	23,63 cm^3
S_{yy}	36,75 cm^3
A	87,75 cm^2
F_f	5,2 MPa
F_{cz}	1,1 MPa
E_f	7900MPa
γ	460 kg/m^3

PP_{techo}= 18,7 (kg/m^2)

PP_{viga}= 460 x 0,045 x 0, 07 = 1,45 (kg/m)

SC_{techo}= 30 (kg/m^2)

Wpos =10,14 (kg/m^2)



4.3.2.1- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles)

a.- Tensiones de trabajo: combinación más desfavorable: PP + SC + Vpos

$$Q_{xx} = 22{,}77\ (\frac{kg}{m})$$

$$Q_{yy} = 56{,}82(\frac{kg}{m})$$

$$M_{xx} = \frac{22{,}77 \times 1{,}0^2}{8} = 2{,}84\ (kg \times m)$$

$$V_{max_{xx}} = \frac{22{,}77 \times 1{,}0}{2} = 11{,}39\ (kg)$$

$$M_{yy} = \frac{56{,}82 \times 1{,}0^2}{8} = 7{,}1\ (kg \times m)$$

$$V_{max_{yy}} = \frac{56{,}82 \times 1{,}0}{2} = 28{,}41\ (kg)$$

a.1.- Tensión de trabajo por flexión

$$F_{f,trab,xx} = \frac{M_{xx}}{S_{yy}} = \frac{284}{36{,}75} = 7{,}73\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec 2.39}$$

$$F_{f,trab,yy} = \frac{M_{yy}}{S_{xx}} = \frac{710}{23{,}63} = 30{,}05\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.39}$$

a.2.- Tensión de trabajo por cizalle

$$F_{cz,trab,xx} = \frac{1{,}5 \times V_{max,xx}}{A} = \frac{1{,}5 \times 11{,}39}{31{,}5} = 0{,}54\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.48}$$

$$F_{cz,trab,yy} = \frac{1{,}5 \times V_{max,yy}}{A} = \frac{1{,}5 \times 28{,}41}{31{,}5} = 1{,}35\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.48}$$

a.3.- Deflexión de trabajo

$$\Delta_{trab,xx} = \frac{5 \times Q_{xx} \times L^4}{384 \times E \times I_{yy}} = \frac{5 \times 0{,}2277 \times 100^4}{384 \times 80580 \times 128{,}63} = 0{,}029\ (cm)$$

$$\Delta_{trab,yy} = \frac{5 \times Q_{yy} \times L^4}{384 \times E \times I_{xx}} = \frac{5 \times 0{,}5682 \times 100^4}{384 \times 80580 \times 53{,}16} = 0{,}176\ (cm)$$

- **Deformación por corte**

$$\frac{L}{h_{xx}} = \frac{100}{4{,}5} = 22{,}22 > 20; \text{ no se considera} \qquad \text{según Ec. 2.71}$$

$$\frac{L}{h_{yy}} = \frac{100}{7} = 14{,}29 < 20; \text{ se considera} \qquad \text{según Ec. 2.71}$$

$$G = \frac{E}{15} = 5372 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$\Delta_{corte,yy} = \frac{1{,}2 \times 284}{5372 \times 31{,}5} = 0{,}002 \text{ (cm)} \qquad \text{según Ec. 2.72}$$

- **Deformación por Creep**

$$\frac{g}{q} < 0{,}5; \text{ no se considera} \qquad \text{según Ec. 2.67}$$

- **Deformación total**

$$\Delta_{total,trab,xx} = 0{,}029 + 0{,}002 = 0{,}031 \text{ (cm)}$$

$$\Delta_{total,trab,yy} = 0{,}176 \text{ (cm)}$$

b.- Tensiones de diseño

b.1.- Tensión de diseño para flexión en la zona traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{hf}; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.40}$$

$$K_H = 0{,}85$$

$$K_D = 1$$

$$K_c = 1{,}15$$

$$K_{hf} = 1; \text{ debido a } h_{xx} < 90 \text{ (mm)}; \quad h_{yy} < 90 \text{ (mm)}$$

$$F_{ft,dis} = 5{,}083 \text{ MPa} = 51{,}85 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.2.- Tensión de diseño para flexión en la zona comprimida

$$F_{fv,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{\lambda v}; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.42}$$

$$K_{\lambda v} = 1; \quad \text{debido a } \frac{h}{b} < 2$$

$$F_{fv,dis} = 5{,}083\ \text{MPa} = 51{,}85\ (\frac{kg}{cm^2})$$

La tensión de diseño para flexión a usar será la más desfavorable, en este caso la menor:

$$F_{f,dis} = 5{,}083\ \text{MPa} = 51{,}85\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.3.- Tensión de diseño por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r;\ \text{en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.49}$$

$$K_r = 1;\ \text{sin rebaje}$$

$$F_{cz,dis} = 0{,}935\text{MPa} = 9{,}54\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.4.- Deflexión de diseño

$$\Delta_{dis} = \frac{L}{300} = \frac{100}{300} = 0{,}33\ (\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.20}$$

c.- Verificación

Debido a los esfuerzos combinados en este caso, flexión biaxial, se debe aplicar la Ec. 2.63, la cual queda simplificada debido a que $f_c = 0$:

$$\frac{F_{f,trab,xx}}{F_{f,dis}} + \frac{F_{f,trab,yy}}{\left[1 - \left(\frac{F_{f,trab,xx}}{F_{fE}}\right)^2\right] \times F_{f,dis}} \leq 1 \qquad \text{según Ec. 2.63}$$

$$\frac{F_{f,trab,xx}}{F_{fE}} \approx 0$$

$$\frac{7{,}73}{51{,}85} + \frac{30{,}05}{[1 - (0)^2] \times 51{,}85} = 0{,}73 < 1;\ \text{correcto}$$

$$F_v = \frac{1{,}35}{9{,}54} = 0{,}141 < 1;\ \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}176}{0{,}33} = 0{,}533 < 1;\ \text{correcto}$$

4.3.2.2- Diseño por el método LRFD (método a la rotura)

a.- Solicitaciones de trabajo: combinación más desfavorable: 1,2 PP + 0,5 SC + 1,3 W

$$Q_{xx} = 1{,}2 \times 9{,}15 + 0{,}5 \times 13{,}62 + 1{,}3 \times 0 = 17{,}79 \ (\frac{kg}{m})$$

$$Q_{yy} = 1{,}2 \times 17{,}95 + 0{,}5 \times 26{,}73 + 1{,}3 \times 10{,}14 = 48{,}19 \ (\frac{kg}{m})$$

$$M_{u,xx} = \frac{17{,}79 \times 1{,}0^2}{8} = 2{,}22 \ (kg \times m)$$

$$M_{u,yy} = \frac{48{,}19 \times 1{,}0^2}{8} = 6{,}02 \ (kg \times m)$$

$$V_{u,xx} = \frac{17{,}79 \times 1{,}0}{2} = 8{,}90 \ (kg)$$

$$V_{u,yy} = \frac{48{,}19 \times 1{,}0}{2} = 24{,}08 \ (kg)$$

$$\Delta_{u,xx} = \frac{5 \times (9{,}15 + 13{,}62)/100 \times 100^4}{384 \times 80580 \times 128{,}63} = 0{,}029 \ (cm); \ \text{por carga } (L + D)$$

$$\Delta_{u,yy} = \frac{5 \times (17{,}95 + 26{,}73)/100 \times 100^4}{384 \times 80580 \times 53{,}16} = 0{,}136 \ (cm); \ \text{por carga } (L + D)$$

b.- Solicitaciones de diseño

b.1.- Momento flector

$$F_{f,dis} = F_f \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$C_L = 1; \text{ debido a que la relación } \frac{h}{b} < 2$$

$$C_r = 1; \text{ debido a que están separadas a más de 60 cm}$$

$$F_{f,dis} = 5{,}2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times 1 \times \frac{2{,}16}{0{,}85} \times 0{,}85 \times 1$$

$$F_{f,dis} = 8{,}99 \text{ MPa} = 91{,}65 \ (\frac{kg}{cm^2})$$

$$M'_{u,xx} = F_{f,dis} \times S_{yy} = 91{,}65 \times 36{,}75 = 3368{,}14(\text{kg x cm}) = 33{,}68(\text{kg x m});\ \text{según Ec. 2.20}$$

$$M'_{u,yy} = F_{f,dis} \times S_{xx} = 91{,}65 \times 23{,}63 = 2165{,}69(\text{kg x cm}) = 21{,}66(\text{kg x m});\ \text{según Ec. 2.20}$$

b.2.- Solicitación por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_{fv} \times \emptyset_v \times \lambda; \text{en MPa}$$

$$F_{cz,dis} = 1{,}1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}75} \times 0{,}75 \times 1$$

$$F_{cz,dis} = 1{,}9\ \text{MPa} = 19{,}38\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$V'_u = 2 \times F_{cz,dis} \times \frac{A}{3} = 407{,}15\ (\text{kg}) \qquad \text{según Ec. 2.29}$$

b.3.- Deflexión

$$\Delta_w{}' = \frac{L}{360} = \frac{100}{360} = 0{,}28\ (\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.11}$$

$$\Delta_{L+D}{}' = \frac{L}{240} = \frac{100}{240} = 0{,}42\ (\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.11}$$

c.- Verificación

Debido a la flexión biaxial de acuerdo a la Ec. 2.34 y con P_u=0 y M_E=0 tenemos que:

$$\frac{M_{u,xx}}{M'_{u,xx}} + \frac{M_{u,yy}}{M'_{u,yy}} \leq 1$$

$$M_f = \frac{2{,}22}{33{,}68} + \frac{6{,}02}{21{,}66} = 0{,}34 < 1; \text{correcto}$$

$$V = \frac{8{,}9}{407{,}15} + \frac{24{,}08}{407{,}15} = 0{,}081 < 1; \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}136}{0{,}42} = 0{,}32 < 1; \text{correcto}$$

4.3.3.- Vigas de techo

La viga de techo más solicitada tiene las siguientes propiedades:

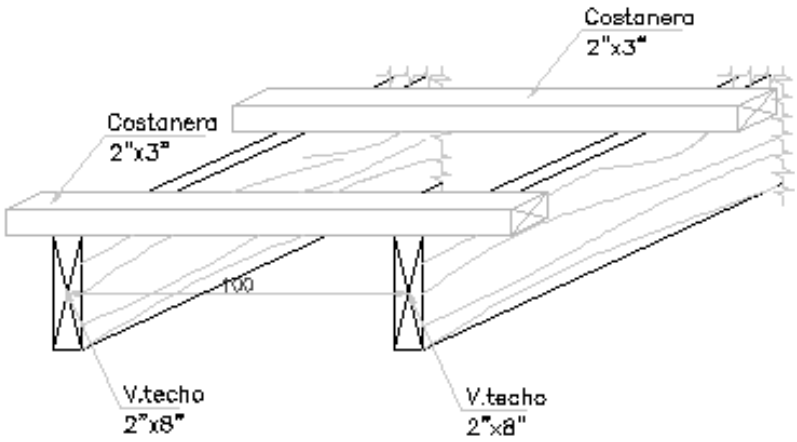
2"x 8"@ 100 cm	
b	4,5 cm
h	19,5 cm
L	360 cm
I	2780,58 cm^4
S	285,19 cm^3
A	87,75 cm^2
F_f	5,2 MPa
F_{cz}	1,1 MPa
E_f	7900MPa
γ	460 kg/m^3

PP_{techo}= 20,15 (kg/m^2)

PP_{viga}= 460 x 0,045 x 0,195 = 4,04 (kg/m)

SC_{techo}= 30 (kg/m^2)

Wpos =10,14 (kg/m^2)



4.3.3.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles)

a.- Tensiones de trabajo: combinación más desfavorable: PP + SC + Vpos, valores obtenidos del Sap 2000 v.14:

$$M = 135,79\ (kg \times m)$$

$$V_{max} = 138,63\ (kg)$$

$$P_{max} = 63,76(kg)$$

$$\Delta_{max} = 0,32(cm)$$

a.1.- Tensión de trabajo por flexión

$$F_{f,trab} = \frac{M}{S} = \frac{135,79 \times 100}{285,19} = 47,61\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.39}$$

a.2.- Tensión de trabajo por cizalle

$$F_{cz,trab} = \frac{1,5 \times V_{max}}{A} = \frac{1,5 \times 138,63}{87,75} = 2,37 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{según Ec. 2.48}$$

a.3.- Tensión de compresión de trabajo

$$F_{c,trab} = \frac{P_{max}}{A} = \frac{63,76}{87,75} = 0,73 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{según Ec. 2.52}$$

a.4.- Deflexión de trabajo

- **Deformación por corte**

$$\frac{L}{h} = \frac{360}{19,5} = 18,46 < 20 \quad \text{según Ec. 2.71}$$

$$G = \frac{E}{15} = 5372 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$\Delta_{corte} = \frac{1,2 \times 13579}{5372 \times 87,75} = 0,034 \text{ (cm)} \quad \text{según Ec. 2.72}$$

- **Deformación por Creep**

$$\frac{g}{q} = \frac{24,19}{64,33} = 0,38 < 0,5; \text{ no se considera Creep} \quad \text{según Ec. 2.67}$$

- **Deformación total**

$$\Delta_{total,trab} = 0,32 + 0,034 = 0,354 \text{ (cm)}$$

b.- Tensiones de diseño

b.1.1- Tensión de diseño para flexión en la zona traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{hf}; \text{ en MPa} \quad \text{según Ec. 2.40}$$

$$K_H = 0,85$$

$$K_D = 1$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_{hf} = 0{,}857$$

$$F_{ft,dis} = 4{,}36\ \text{MPa} = 44{,}43\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.1.2.- Tensión de diseño para flexión en la zona comprimida

$$F_{fc,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{\lambda v};\ \text{en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.42}$$

-Factor de modificación:

$$l_v = 2{,}06 \times l_a = 2{,}06 \times 100 = 206(\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.15}$$

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{206 \times 19{,}5}{4{,}5^2}} = 14{,}08 \qquad \text{según Ec. 2.46}$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0{,}85 \times 1 = 6715\ \text{MPa} = 68493\ (\frac{kg}{cm^2})$$

$$F_{f,E} = \frac{0{,}561 \times 68493}{14{,}08^2} = 193{,}82\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.44}$$

$$F^*_{f,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c = 5{,}2 \times 0{,}85 \times 1 \times 1{,}15 = 5{,}08\ \text{MPa} = 51{,}85\ (\frac{kg}{cm^2})$$

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + (193{,}82\ /51{,}85\ )}{1{,}9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (193{,}82\ /51{,}85\ )}{1{,}9}\right]^2 - \frac{193{,}82\ /51{,}85}{0{,}95}} = 0{,}98;$$

según Ec. 2.43

$$F_{fc,dis} = 4{,}97\ \text{Mpa} = 50{,}78\ (\frac{kg}{cm^2})$$

La tensión de diseño para flexión a usar será la más desfavorable, en este caso la menor:

$$F_{f,dis} = 4{,}36\ \text{MPa} = 44{,}43\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.2.- Tensión de diseño por compresión

$$\lambda = \frac{k \times l_p}{i};\ \ i = \sqrt{\frac{I}{A}}; k = 1;\ \ l_p = 100$$

$$\lambda = \frac{100}{5{,}63}$$

$$\lambda = 17{,}76 > 10$$

Por lo tanto debemos aplicar la siguiente ecuación, debido a la esbeltez de la viga de techo:

$$F_{cp\lambda,dis} = F_{cp,dis} \times K_\lambda \qquad \text{según Ec. 2.54}$$

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \times K_H \times K_D = 7{,}5 \times 0{,}85 \times 1 = 6{,}375\ \text{MPa} = 65{,}025\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \quad \text{según Ec. 2.53}$$

$$K_\lambda = A - \sqrt{A^2 - B}$$

$$c = 0{,}8$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0{,}85 \times 1 = 6715\ \text{MPa} = 68493\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{3{,}6 \times 68493}{17{,}76^2} = 781{,}74\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.58}$$

$$A = \frac{\frac{781{,}74}{65{,}025} \times \left(1 + \frac{17{,}76}{200}\right) + 1}{2 \times 0{,}8} = 8{,}81 \qquad \text{según Ec. 2.56}$$

$$B = \frac{781{,}74}{0{,}8 \times 65{,}025} = 15{,}03 \qquad \text{según Ec. 2.57}$$

$$K_\lambda = 8{,}81 - \sqrt{8{,}81^2 - 15{,}03} = 0{,}89 \qquad \text{según Ec. 2.55}$$

$$F_{c\lambda,dis} = 65{,}025 \times 0{,}89 = 57{,}87\left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.54}$$

b.3.- Tensión de diseño por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.49}$$

$$K_r = 1; \text{ sin rebaje}$$

$$F_{cz,dis} = 0{,}935\text{MPa} = 9{,}54\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.4.- Deflexión de diseño

$$\Delta_{dis} = \frac{360}{300} = \frac{360}{300} = 1{,}2\ (cm)$$

c.- Verificación

Para esfuerzos combinados por flexocompresión se debe aplicar la Ec. 2.63 la cual se simplifica y queda como:

$$\left(\frac{F_{c,trab}}{F_{c\lambda,dis}}\right)^2 + \frac{F_{f,trab}}{\left(1 - \frac{F_{c,trab}}{F_{cE}}\right) \times F_{f,dis}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0{,}73}{57{,}87}\right)^2 + \frac{47{,}61}{\left(1 - \frac{0{,}73}{781{,}74}\right) \times 44{,}43} = 1.07; \text{ no verifica por flexión}$$

$$F_v = \frac{2{,}37}{9{,}54} = 0{,}25 < 1; \text{ correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}354}{1{,}2} = 0{,}51 < 1; \text{ correcto}$$

4.3.3.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura)

a.- Solicitaciones de trabajo: combinación más desfavorable: 1,2 PP + 0,5 SC + 1,3 W, según valores obtenidos del modelo en Sap 2000 v.14.

$$Q = 1{,}2 \times 20{,}15 + 0{,}5 \times 30 + 1{,}3 \times 10{,}4$$

$$M_u = 133{,}02\ (\text{kg x m})$$

$$V_u = 163{,}15 \text{ (kg)}$$

$$P_u = 54{,}51 \text{ (kg)}$$

$$\Delta_u = 0{,}316 \text{ (cm); por carga (L + D)}$$

$$\Delta_u = 0{,}0315 \text{ (cm); por carga (W)}$$

b.- Solicitaciones de diseño

b.1.- Momento flector

$$F_{f,dis} = F_f \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$C_r = 1; \text{ debido a que están separadas a más de 60 cm}$$

Calculo del factor por volcamiento C_L:

$$C_L = \frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(F_{bEn}/F^*_{bn})}{0{,}95}} \quad \text{según Ec. 2.23}$$

$$E_{min}{}' = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480 \text{ MPa} = 96696 \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \quad \text{según Ec. 2.25}$$

$$\frac{l_u}{d} = \frac{100}{19{,}5} = 5{,}13 < 7;\ l_e = 2{,}06 \times l_u = 206 \text{ (cm)} \quad \text{según tabla 2.10}$$

$$R_b = \sqrt{\frac{206 \times 19{,}5}{4{,}5^2}} = 14{,}08 \quad \text{según Ec. 2.23}$$

$$F_{bEn} = \frac{1{,}2 \times 96696}{14{,}08^2} = 585{,}31 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{según Ec. 2.24}$$

$$F^*_{bn} = 5{,}2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times 1 \times \frac{2{,}16}{0{,}85} \times 0{,}85 \times 1 = 8{,}99 \text{ MPa} = 91{,}65 \left(\frac{kg}{cm^2}\right);$$

según Ec. 2.27

$$C_L = \frac{1 + (585{,}31/91{,}65)}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (585{,}31/91{,}65)}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(585{,}31/91{,}65)}{0{,}95}} = 0{,}99 \approx 1$$

según Ec. 2.23

$$F_{f,dis} = F^*_{bn} \times C_L = 91{,}65\ (\frac{kg}{cm^2})$$

$$M'_u = F_{f,dis} \times S = 91{,}65 \times 285{,}19 = 26137{,}7(\text{kg x cm}) = 261{,}38(\text{kg x m});\ \text{según Ec. 2.20}$$

b.2.- Solicitación por corte

$$F_{v,dis} = F_{cz} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_{fv} \times Ø_v \times \lambda;\ \text{en MPa}$$

$$F_{v,dis} = 1{,}1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}75} \times 0{,}75 \times 1$$

$$F_{v,dis} = 1{,}9\ \text{MPa} = 19{,}38\ (\frac{kg}{cm^2})$$

$$V'_u = 2 \times F_{v,dis} \times \frac{A}{3} = 1133{,}73\ (\text{kg}) \qquad \text{según Ec. 2.29}$$

b.3.- Solicitación por compresión

$$P'_u = F_{c,dis}{}^* \times A \times C_p$$

$$F_{c,dis}{}^* = F_c \times C_M \times C_t \times C_F \times C_i \times K_{fc} \times Ø_c \times \lambda;\ \text{en MPa}$$

$$F_{c,dis}{}^* = 7{,}5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}9} \times 0{,}9 \times 1$$

$$F_{c,dis}{}^* = 12{,}96\ \text{MPa} = 132{,}19\ (\frac{kg}{cm^2})$$

Ahora procedemos a calcular el factor de ajuste C_p, tenemos que las vigas de techo se encuentran arriostradas a 100 cm, por lo tanto tenemos que la longitud efectiva l_e:

$$l_e = 100 \times K = 100$$

$$E_{min} = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480 \text{ MPa} = 96696 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{0{,}822 \times 96696}{\left(\frac{100}{19{,}5}\right)^2} = 3022{,}38 \ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.18}$$

c=0.8; para miembros de madera maciza

$$C_p = \frac{1 + \frac{3022{,}38}{132{,}19}}{2 \times 0{,}8} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{3022{,}38}{132{,}19}}{2 \times 0{,}8}\right)^2 - \frac{\frac{3022{,}38}{132{,}19}}{0{,}8}} = 0{,}99 \approx 1 \qquad \text{según Ec. 2.17}$$

$$P_u^{'} = 132{,}19 \times 87{,}75 \times 1 = 11599{,}7 \text{ (kg)}$$

b.4.- Deflexión

$$\Delta_{L+D}{}^{'} = \frac{L}{240} = \frac{360}{240} = 1{,}5 \text{ (cm)} \qquad \text{según tabla 2.11}$$

$$\Delta_W{}^{'} = \frac{L}{360} = \frac{360}{360} 1{,}0 \text{ (cm)} \qquad \text{según tabla 2.11}$$

c.- Verificación

Para miembros sometidos a esfuerzos combinados, en nuestro caso en flexocompresión se debe aplicar la Ec. 2.34 la cual queda simplificada de la siguiente forma:

$$\left(\frac{P_u}{P_u^{'}}\right)^2 + \frac{M_u}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{cE}}\right) \times M_u^{'}} \leq 1$$

$$\left(\frac{54{,}51}{11599{,}7}\right)^2 + \frac{133{,}02}{\left(1 - \frac{54{,}51}{3022{,}38 \ \times 87{,}75}\right) \times 261{,}38} = 0{,}51; \text{correcto}$$

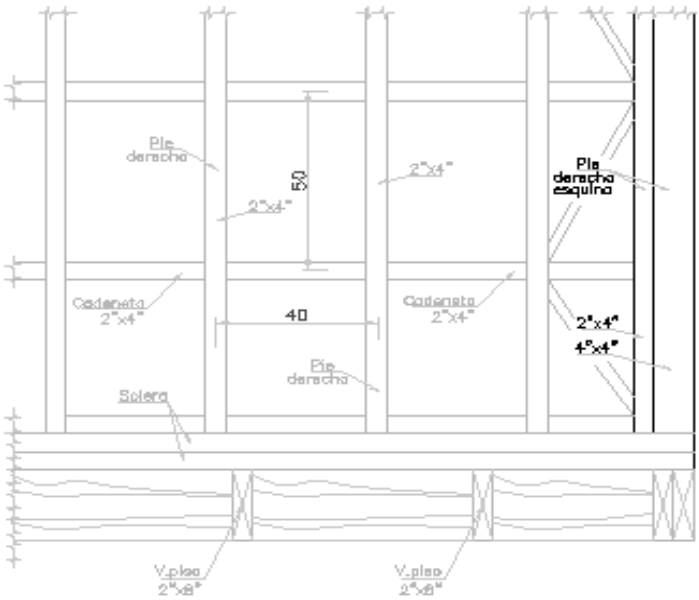
$$V = \frac{163{,}15}{1133{,}73} = 0{,}14 < 1; \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}316}{1{,}5} = 0{,}21 < 1; \text{correcto}$$

4.4.- Pie derecho (de esquina)

El pie derecho de la siguiente sección más solicitado tiene las siguientes propiedades:

4"x 4"+ 2 de 2"x 4"@ 40 cm	
b	14 cm
h	14 cm
L	260 cm
I	2657,63 cm^4
S	352,13 cm^3
A	175,75 cm^2
F_f	5,2 MPa
F_{cz}	1,1 MPa
E_f	7900MPa
γ	460 kg/m^3



4.4.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles)

a.- Tensiones de trabajo: las tensiones de trabajo serán obtenidas del modelo hecho en Sap 2000 v.14. La combinación más desfavorable: PP + SC + Sx:

$$M_{max} = 82{,}48\ (kg \times m)$$

$$V_{max} = 73{,}41\ (kg)$$

$$P_{max} = 585(kg)$$

$$\Delta_{max} = 0{,}18(cm)$$

a.1.- Tensión de trabajo por flexión

$$F_{f,trab} = \frac{M}{S} = \frac{82{,}48 \times 100}{352{,}13} = 23{,}42\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según 2.39}$$

a.2.- Tensión de trabajo por cizalle

$$F_{cz,trab} = \frac{1{,}5 \times V_{max}}{A} = \frac{1{,}5 \times 73{,}41}{175{,}75} = 0{,}63\left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según 2.48}$$

a.3.- Tensión de compresión de trabajo

$$F_{c,trab} = \frac{P_{max}}{A} = \frac{585}{175,75} = 3,33 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.52}$$

a.4.- Deflexión de trabajo

- **Deformación por corte**

$$\frac{L}{h} = \frac{260}{14} = 18,57 < 20 \qquad \text{según Ec. 2.71}$$

$$G = \frac{E}{15} = 5372 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$\Delta_{corte} = \frac{1,2 \times 8248}{5372 \times 175,75} = 0,01 \text{ (cm)} \qquad \text{según Ec. 2.72}$$

- **Deformación total**

$$\Delta_{total,trab} = 0,18 + 0,01 = 0,19 \text{ (cm)}$$

b.- Tensiones de diseño

b.1.1- Tensión de diseño para flexión en la zona traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{hf}; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.40}$$

$$K_H = 0,85$$

$$K_D = 1$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_{hf} = 0,92$$

No se considera el factor por efecto de volcamiento, debido a que h/b <2. Por lo tanto la tensión de diseño es igual a:

$$F_{ft,dis} = 4,67 \text{MPa} = 47,69 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.1.2.- Tensión de diseño para flexión en la zona comprimida

$$F_{fc,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{\lambda v}; \text{en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.42}$$

No se considera debido a que $K_{\lambda v}=1$ por la relación (h/b)=1<2. Por lo tanto la tensión de diseño a flexión queda determinada por flexión en la zona traccionada.

$$F_{f,dis} = 47{,}69 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.2.- Tensión de diseño por compresión

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}; k = 1; \; l_p = 50 \qquad \text{según figura 2.32}$$

$$\lambda = \frac{k \times l_p}{i} = \frac{50}{3{,}89} \qquad \text{según Ec. 2.51}$$

$$\lambda = 12{,}86 > 10$$

Por lo tanto debemos aplicar la siguiente ecuación, debido a la esbeltez del pie derecho:

$$F_{cp\lambda,dis} = F_{cp,dis} \times K_\lambda$$

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \times K_H \times K_D = 7{,}5 \times 0{,}85 \times 1 = 6{,}375 \text{ MPa} = 65{,}025 \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \quad \text{según Ec. 2.53}$$

$$K_\lambda = A - \sqrt{A^2 - B}$$

$$c = 0{,}8$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0{,}85 \times 1 = 6715 \text{ MPa} = 68493 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{3{,}6 \times 68493}{12{,}86^2} = 1490{,}96 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según 2.58}$$

$$A = \frac{\frac{1490{,}86}{65{,}025} \times \left(1 + \frac{12{,}86}{200}\right) + 1}{2 \times 0{,}8} = 15{,}88 \qquad \text{según 2.56}$$

$$B = \frac{1490,96}{0,8 \times 65,025} = 28,66 \qquad \text{según Ec. 2.57}$$

$$K_\lambda = 15,88 - \sqrt{15,88^2 - 28,66,93} \qquad \text{según Ec. 2.55}$$

$$F_{c\lambda,dis} = 65,025 \times 0,93 = 60,47 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.54}$$

b.3.- Tensión de diseño por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.49}$$

$$K_r = 1; \text{ sin rebaje}$$

$$F_{cz,dis} = 0,935MPa = 9,54 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.4.- Deflexión de diseño

$$\Delta_{dis} = \frac{L}{300} = \frac{260}{300} = 0,87 \text{ (cm)} \qquad \text{según tabla 2.20}$$

c.- Verificación

Para esfuerzos combinados debido a flexocompresión, se debe aplicar la Ec. 2.63, donde existe flexión solo en un eje por lo cual la ecuación queda simplificada de la siguiente forma:

$$\left(\frac{F_{c,trab}}{F_{c\lambda,dis}}\right)^2 + \frac{F_{f,trab}}{\left(1 - \frac{F_{c,trab}}{F_{cE}}\right) \times F_{f,dis}} \leq 1 \qquad \text{según Ec. 2.63}$$

$$\left(\frac{3,33}{60,47}\right)^2 + \frac{23,42}{\left(1 - \frac{3,33}{1490,96}\right) \times 47,69} = 0,50; \text{ correcto}$$

$$F_v = \frac{0,63}{9,54} = 0,066 < 1; \text{ correcto}$$

$$\Delta = \frac{0,19}{0,87} = 0,22 < 1; \text{ correcto}$$

Se puede disminuir la sección hasta que cumpla con la relación de verificación de esfuerzos combinados, pero se debe tener en cuenta que constructivamente se deben conservar las dos piezas de 2”x4”, por lo tanto la pieza a disminuir es la sección de la pieza de 4”x4”, siendo la primera pieza a optar 3”x4”, la cual tendría que seguir los mismos pasos para ser verificada.

4.4.2.- Diseño por el método LRFD (método a la rotura)

a.- Solicitaciones de trabajo: Según valores obtenidos del modelo en Sap 2000 v.14. La combinación más desfavorable: 1,2 PP + 0,5 SC + 1,0 Sx

$$M_u = 79{,}15 \text{ (kg x m)}$$

$$V_u = 130{,}0 \text{ (kg)}$$

$$P_u = 833{,}34 \text{ (kg)}$$

$$\Delta_u = 0{,}18 \text{ (cm); por carga (L + D)}$$

b.- Solicitaciones de diseño

b.1.- Momento flector

$$F_{f,dis} = F_f \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$C_r = 1{,}15$$

$$C_L = 1; \text{ debido a la relación } \frac{h}{b} < 2$$

$$F_{f,dis} = 5{,}2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times 1{,}15 \times \frac{2{,}16}{0{,}85} \times 0{,}85 \times 1$$

$$F_{f,dis} = 10{,}33 \text{ MPa} = 105{,}40 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$M_u' = F_{f,dis} \times S = 105{,}40 \times 352{,}13 = 37114{,}9 \text{(kg x cm)} = 371{,}15 \text{(kg x m)}; \text{ según Ec. 2.20}$$

b.2.- Solicitación por corte

$$F_{v,dis} = F_{cz} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_{fv} \times \emptyset_v \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$F_{v,dis} = 1{,}1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}75} \times 0{,}75 \times 1$$

$$F_{v,dis} = 1{,}9 \text{ MPa} = 19{,}38 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$V_u^{'} = 2 \times F_{v,dis} \times \frac{A}{3} = 2270{,}69 \text{ (kg)} \qquad \text{según Ec. 2.29}$$

b.3.- Solicitación por compresión

$$P_u^{'} = F_{c,dis}^{*} \times A \times C_p \qquad \text{según Ec. 2.16}$$

$$F_{c,dis}^{*} = F_c \times C_M \times C_t \times C_F \times C_i \times K_{fc} \times \text{Ø}_c \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$F_{c,dis}^{*} = 7{,}5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}9} \times 0{,}9 \times 1$$

$$F_{c,dis}^{*} = 12{,}96 \text{ MPa} = 132{,}19 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

Calculamos el factor C_p:

$$C_p = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{2 \times c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{2 \times c}\right)^2 - \frac{\frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{c}}$$

$$c = 0{,}8$$

Los pies derechos se encuentran arriostrados a 50 cm, por lo tanto tenemos que:

$$l_e = 50 \times K = 50; \qquad l_e = 50 \times 1 = 50 \qquad \text{según figura 2.29}$$

$$E_{min} = E \times C_M \times C_t \times C_i \times K_f \times \text{Ø}_s; \text{ en MPa}$$

$$E_{min} = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480 \text{ MPa} = 96696 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{0{,}822 \times E_{min}}{\left(\frac{l_e}{d}\right)^2} = \frac{0{,}822 \times 96696}{\left(\frac{50}{14}\right)^2} = 6231{,}55 \ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.18}$$

$$C_p = \frac{1 + \frac{6231,55}{132,19}}{2 \times 0,8} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{6231,55}{132,19}}{2 \times 0,8}\right)^2 - \frac{\frac{6231,55}{132,19}}{0,8}} = 0,99 \approx 1 \quad \text{según Ec. 2.17}$$

$$P_u^{'} = 132,19 \times 87,75 \times 1 = 11599,7(\text{kg}) \quad \text{según Ec. 2.16}$$

b.4.- Deflexión

$$\Delta^{'} = \frac{L}{240} = \frac{260}{240} = 1,08\ (\text{cm}) \quad \text{según tabla 2.11}$$

c.- Verificación

Para miembros sometidos a esfuerzos combinados, en nuestro caso en flexocompresión se debe usar la Ec. 2.34, la cual se simplifica debido a que tenemos flexión en un solo eje:

$$\left(\frac{P_u}{P_u^{'}}\right)^2 + \frac{M_u}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{cE}}\right) \times M_u^{'}} \leq 1 \quad \text{según Ec. 2.34}$$

$$\left(\frac{833,34}{11599,7}\right)^2 + \frac{79,15}{\left(1 - \frac{833,34}{6231,55 \times 175,75}\right) \times 371,15} = 0,22; \text{correcto}$$

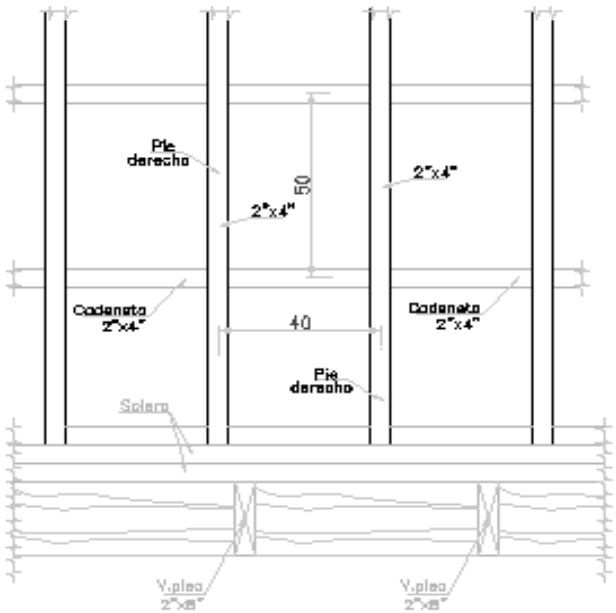
$$V = \frac{130,0}{2270,69} = 0,06 < 1; \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0,18}{1,08} = 0,17 < 1; \text{correcto}$$

4.4.5.- Pie derecho (zona central)

Se evaluará el pie derecho de sección 2”x4”, según las máximas solicitaciones de acuerdo al modelo hecho en Sap 2000 v.14:

2”x 4”@ 40 cm	
b	4,5 cm
h	9,5 cm
L	260 cm
I	321,516 cm^4
S	67,69 cm^3
A	42,75 cm^2
F_f	5,2 MPa
F_{cz}	1,1 MPa
E_f	7900MPa
γ	^{5} /m^3



4.4.5.1.- Diseño por el método ASD (tensiones admisibles)

a.- Tensiones de trabajo: las tensiones de trabajo serán obtenidas del modelo hecho en Sap 2000 v.14 donde la combinación más desfavorable es PP + SC + Sx, con espectro de diseño:

$$M_{max} = 55{,}64\ (kg \times m)$$

$$V_{max} = 31{,}05\ (kg)$$

$$P_{max} = 740{,}79(kg)$$

$$\Delta_{max} = 0{,}26(cm)$$

a.1.- Tensión de trabajo por flexión

$$F_{f,trab} = \frac{M}{S} = \frac{55{,}64 \times 100}{67{,}69} = 82{,}2\ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.39}$$

a.2.- Tensión de trabajo por cizalle

$$F_{v,trab} = \frac{1,5 \times V_{max}}{A} = \frac{1,5 \times 31,05}{42,75} = 1,09 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{según Ec. 2.48}$$

a.3.- Tensión de compresión de trabajo

$$F_{c,trab} = \frac{P_{max}}{A} = \frac{740,79}{42,75} = 17,33 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{según Ec. 2.52}$$

a.4.- Deflexión de trabajo

- **Deformación por corte**

$$\frac{L}{h} = \frac{260}{9,5} = 27,37 > 20; \text{ no se considera} \quad \text{según Ec. 2.71}$$

- **Deformación total**

$$\Delta_{total,trab} = 0,26 \text{ (cm)}$$

b.- Tensiones de diseño

b.1.1- Tensión de diseño para flexión en la zona traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{hf}; \text{ en MPa} \quad \text{según Ec. 2.40}$$

$$K_H = 0,85$$

$$K_D = 1$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_{hf} = 0,99$$

$$F_{ft,dis} = 5,03 \text{MPa} = 51,33 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

b.1.2.- Tensión de diseño para flexión en la zona comprimida

$$\frac{h}{b} = 2,11 > 2; \text{ se considera}$$

$$F_{fc,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c \times K_{\lambda v}; \text{ en MPa} \quad \text{según Ec. 2.42}$$

Calculo del factor de modificación por volcamiento $K_{\lambda v}$:

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + \left(F_{f,E}/F^{*}_{f,dis}\right)}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(F_{f,E}/F^{*}_{f,dis}\right)}{1,9}\right]^2 - \frac{F_{f,E}/F^{*}_{f,dis}}{0,95}} \qquad \text{según Ec. 2.43}$$

$$F_{f,E} = \frac{C_{f,E} \times E_{dis}}{\lambda_v^2}$$

$$C_{f,E} = 0,561; \text{ para madera aserrada con clasificación mecánica}$$

$$l_v = 2,06 \times l_a = 2,06 \times 50 = 103(\text{cm}) \qquad \text{según tabla 2.15}$$

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{103 \times 9,5}{4,5^2}} = 6,95 \qquad \text{según Ec. 2.46}$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0,85 \times 1 = 6715 \text{ MPa} = 68493 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$$

$$F_{f,E} = \frac{0,561 \times 68493}{6,95^2} = 795,5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.44}$$

$$F^{*}_{f,dis} = F_f \times K_H \times K_D \times K_c = 5,2 \times 0,85 \times 1 \times 1,15 = 5,08 \text{ MPa} = 51,85 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$$

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + (795,5\ /51,85\ )}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (795,5\ /51,85\ )}{1,9}\right]^2 - \frac{795,5\ /51,85}{0,95}} = 0,99 \approx 1$$

$$F_{fc,dis} = 51,85 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$$

La tensión de diseño para flexión a usar será la más desfavorable, en este caso la menor:

$$F_{f,dis} = 51,85 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$$

b.2.- Tensión de diseño por compresión

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}; k = 1;\ \ l_p = 50 \qquad \text{según figura 2.32}$$

$$\lambda = \frac{k \times l_p}{i} \qquad \text{según Ec. 2.51}$$

$$\lambda = \frac{50}{2{,}74}; \quad \lambda = 18{,}23 > 10$$

Por lo tanto debemos aplicar la siguiente ecuación, debido a la esbeltez del pie derecho:

$$F_{cp\lambda,dis} = F_{cp,dis} \times K_\lambda \qquad \text{según Ec. 2.54}$$

$$F_{cp,dis} = 7{,}5 \times 0{,}85 \times 1 = 6{,}375 \text{ MPa} = 65{,}025 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.53}$$

Calculo del factor de modificación K_λ:

$$K_\lambda = A - \sqrt{A^2 - B}$$

$$E_{dis} = E_f \times K_H \times K_t = 7900 \times 0{,}85 \times 1 = 6715 \text{ MPa} = 68493 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{3{,}6 \times 68493}{18{,}23^2} = 741{,}95 \left(\frac{kg}{cm^2}\right); \qquad \text{según Ec. 2.58}$$

$$c = 0{,}8$$

$$A = \frac{\frac{741{,}95}{65{,}025} \times \left(1 + \frac{18{,}23}{200}\right) + 1}{2 \times 0{,}8} = 8{,}41 \qquad \text{según Ec. 2.56}$$

$$B = \frac{741{,}95}{0{,}8 \times 65{,}025} = 14{,}26 \qquad \text{según Ec. 2.57}$$

$$K_\lambda = 8{,}41 - \sqrt{8{,}41^2 - 14{,}26} = 0{,}90 \qquad \text{según Ec. 2.55}$$

$$F_{c\lambda,dis} = 65{,}025 \times 0{,}93 = 58{,}23 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.54}$$

b.3.- Tensión de diseño por corte

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \times K_H \times K_D \times K_r; \text{ en MPa} \qquad \text{según Ec. 2.49}$$

$$K_r = 1; \text{ sin rebaje}$$

$$F_{cz,dis} = 0{,}935\text{MPa} = 9{,}54\ (\frac{kg}{cm^2})$$

b.4.- Deflexión de diseño

$$\Delta_{dis} = \frac{L}{300} = \frac{260}{300} = 0{,}87\ (cm)$$ según tabla 2.20

c.- Verificación

Para esfuerzos combinados debido a flexocompresión, se debe aplicar la Ec.2.63, la cual se simplifica quedando:

$$\left(\frac{F_{c,trab}}{F_{c\lambda,dis}}\right)^2 + \frac{F_{f,trab}}{\left(1 - \frac{F_{c,trab}}{F_{cE}}\right) \times F_{f,dis}} \leq 1$$

$$\left(\frac{17{,}33}{58{,}23}\right)^2 + \frac{82{,}2}{\left(1 - \frac{17{,}33}{741{,}95}\right) \times 51{,}85} = 1{,}71; \text{no verifica}$$

$$F_v = \frac{1{,}14}{9{,}54} = 0{,}12 < 1; \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}26}{0{,}87} = 0{,}29 < 1; \text{correcto}$$

4.4.5.2. - Diseño por el método LRFD (método a la rotura)

a.- Solicitaciones de trabajo: Según valores obtenidos del modelo en Sap 2000 v.14. La combinación más desfavorable: 1,2 PP + 0,5 SC + 1,0 Sx

$$M_u = 45{,}59\ (kg \times m)$$

$$V_u = 25{,}16(kg)$$

$$P_u = 688{,}63\ (kg)$$

$$\Delta_u = 0{,}26\ (cm); \text{por carga } (L + D)$$

b.- Solicitaciones de diseño

b.1.- Momento flector

$$F_{f,dis} = F_f \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$C_r = 1{,}15$$

Veamos el factor por volcamiento:

$$C_L = \frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{bEn}/F^*_{bn})}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(F_{bEn}/F^*_{bn})}{0{,}95}} \quad \text{según Ec. 2.23}$$

$$\frac{l_u}{d} = \frac{50}{9{,}5} = 5{,}26 < 7;\ l_e = 2{,}06 \times l_u = 103\ (\text{cm}) \quad \text{según tabla 2.10}$$

$$R_b = \sqrt{\frac{103 \times 9{,}5}{4{,}5^2}} = 6{,}95 \quad \text{según Ec. 2.26}$$

$$E_{min}{}' = E_{min} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_F \times \emptyset_S$$

$$E_{min}{}' = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480\ \text{MPa} = 96696\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$F_{bEn} = \frac{1{,}2 \times E_{min}{}'}{R_b^2} = \frac{1{,}2 \times 96696}{6{,}95^2} = 2402{,}3\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}) \quad \text{según Ec. 2.24}$$

$$F^*_{bn} = F_f \times C_M \times C_t \times C_F \times C_{fu} \times C_i \times C_r \times K_f \times \emptyset_b \times \lambda$$

$$F^*_{bn} = 5{,}2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times 1{,}15 \times \frac{2{,}16}{0{,}85} \times 0{,}85 \times 1 = 10{,}33\ \text{MPa} = 105{,}4\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$C_L = \frac{1 + (2402{,}3/105{,}4)}{1{,}9} - \sqrt{\left(\frac{1 + (2402{,}3/105{,}4)}{1{,}9}\right)^2 - \frac{(2402{,}3/105{,}4)}{0{,}95}} = 0{,}99 \approx 1$$

$$F_{f,dis} = 105{,}40 \times 1 = 105{,}40\ (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$M_u' = F_{f,dis} \times S = 105{,}40 \times 67{,}69 = 7134{,}53(\text{kg x cm}) = 71{,}35(\text{kg x m}) \quad \text{según Ec. 2.20}$$

b.2.- Solicitación por corte

$$F_{v,dis} = F_{cz} \times C_M \times C_t \times C_i \times K_{fv} \times \emptyset_v \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$F_{v,dis} = 1{,}1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}75} \times 0{,}75 \times 1$$

$$F_{v,dis} = 1{,}9 \text{ MPa} = 19{,}38 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$V_u^{'} = 2 \times F_{v,dis} \times \frac{A}{3} = 552{,}33 \text{ (kg)} \qquad \text{según Ec. 2.29}$$

b.3.- Solicitación por compresión

$$P_u^{'} = F_{c,dis}^{*} \times A \times C_p \qquad \text{según Ec. 2.16}$$

$$F_{c,dis}^{*} = F_c \times C_M \times C_t \times C_F \times C_i \times K_{fc} \times \emptyset_c \times \lambda; \text{ en MPa}$$

$$F_{c,dis}^{*} = 7{,}5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{2{,}16}{0{,}9} \times 0{,}9 \times 1$$

$$F_{c,dis}^{*} = 12{,}96 \text{ MPa} = 132{,}19 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$C_p = \frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{2 \times c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{2 \times c}\right)^2 - \frac{\frac{F_{cE}}{F_{c,dis}^{*}}}{c}} \qquad \text{según Ec. 2.17}$$

$$c = 0{,}8$$

Los pies derechos se encuentran arriostrados a 50 cm, por lo tanto tenemos que:

$$l_e = 50 \times K = 50$$

$$l_e = 50 \times 1 = 50 \qquad \text{según figura 2.29}$$

$$E_{min} = E \times C_M \times C_t \times C_i \times K_f \times \emptyset_s; \text{ en MPa}$$

$$E_{min} = 7900 \times 1 \times 1 \times 0{,}8 \times \frac{1{,}5}{0{,}85} \times 0{,}85 = 9480 \text{ MPa} = 96696 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$F_{cE} = \frac{0{,}822 \times E_{min}}{\left(\frac{l_e}{d}\right)^2} = \frac{0{,}822 \times 96696}{\left(\frac{50}{9{,}5}\right)^2} = 2869{,}38 \ \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \qquad \text{según Ec. 2.18}$$

$$C_p = \frac{1 + \frac{2869{,}38}{132{,}19}}{2 \times 0{,}8} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{2869{,}38}{132{,}19}}{2 \times 0{,}8}\right)^2 - \frac{\frac{2869{,}38}{132{,}19}}{0{,}8}} = 0{,}99 \approx 1$$

$$P_u^{'} = 132{,}19 \times 42{,}75 \times 1 = 5651{,}12(kg)$$

b.4.- Deflexión

$$\Delta^{'} = \frac{L}{240} = \frac{260}{240} = 1{,}08 \ (cm) \qquad \text{según tabla 2.11}$$

c.- Verificación

Para miembros sometidos a esfuerzos combinados, en nuestro caso en flexocompresión se debe cumplir la Ec. 2.34, la cual queda simplificada por flexión uniaxial:

$$\left(\frac{P_u}{P_u^{'}}\right)^2 + \frac{M_u}{\left(1 - \frac{P_u}{P_{cE}}\right) \times M_u^{'}} \leq 1$$

$$\left(\frac{688{,}63}{5651{,}12}\right)^2 + \frac{45{,}59}{\left(1 - \frac{688{,}63}{2869{,}38 \times 42{,}75}\right) \times 71{,}35} = 0{,}66; \ \text{correcto}$$

$$V = \frac{25{,}16}{552{,}33} = 0{,}05 < 1; \ \text{correcto}$$

$$\Delta = \frac{0{,}26}{1{,}08} = 0{,}24 < 1; \ \text{correcto}$$

4.5.- Discusión de resultados

A continuación se mostrará en la tabla 4.6 los factores de modificación que se usan en cada método, a través de esta tabla nos damos cuenta de las diferencias que existen, puesto que hay factores que se usan sólo en un método y factores que se repiten en ambos.

Tabla 4.6 Aplicación de los factores de ajustes para cada método

ASD	LRFD
$F_b' = F_b\, C_D\, C_m\, C_t\, C_L\, C_F\, C_{fu}\, C_i\, C_r$	$F_b' = F_b\, C_m\, C_t\, C_L\, C_F\, C_{fu}\, C_i\, C_r\, K_f\, \emptyset_s\, \lambda$
$F_t' = F_t\, C_D\, C_m\, C_t\, C_F\, C_i$	$F_t' = F_t\, C_m\, C_t\, C_F\, C_i\, K_f\, \emptyset_t\, \lambda$
$F_v' = F_v\, C_D\, C_m\, C_t\, C_i$	$F_v' = F_v\, C_m\, C_t\, C_i\, K_f\, \emptyset_v\, \lambda$
$F_c' = F_c\, C_D\, C_m\, C_t\, C_F\, C_i\, C_P$	$F_c' = F_c\, C_m\, C_t\, C_F\, C_i\, C_P\, K_f\, \emptyset_c\, \lambda$
$F_{cb}' = F_{cb}\, C_D\, C_t\, C_i\, C_b$	$F_{cb}' = F_{cb}\, C_m\, C_t\, C_i\, C_b\, K_f\, \emptyset_c\, \lambda$
$E' = E\, C_m\, C_t\, C_i$	$E' = E\, C_m\, C_t\, C_i$
$E_{min}' = E_{min}\, C_m\, C_t\, C_i\, C_T$	$E_{min}' = E_{min}\, C_m\, C_t\, C_i\, C_T\, K_f\, \emptyset_s$

Fuente: Manual for Ingineered Wood Construction ASD/LRFD, 2005

De acuerdo a la tabla 4.6 vemos que la principal diferencia es que el método LRFD usa el factor de conversión de formato K_f y el factor de resistencia Ø. Así también está el factor de efector temporal λ que depende de la combinación de carga para el método LRFD, para ASD existe un factor similar C_D pero que depende de la duración de carga.

Vemos que ciertos conceptos son los mismos y que por lo tanto se aplican las mismas ecuaciones, es así por ejemplo: el factor de modificación por volcamiento que para LRFD es C_L y para ASD es $K_{\lambda v}$ (NCh 1198), donde la única diferencia es que LRFD mayora sus cargas lo que afecta el cálculo del factor. Para el factor de modificación por pandeo C_p para LRFD y K_λ para ASD (NCh 1198), se repite la misma situación anterior pero acompañada con la tensión F_{cE} que para ASD es dividido por λ (relación de esbeltez de una columna), y que en LRFD se divide por (l_e/d). Por lo tanto muchas de las ecuaciones tienen la misma estructura sólo difieren en algunas definiciones de las variables.

Ahora se hará la comparación de los métodos ASD y LRFD a través de la tabla 4.7, donde se evaluó el porcentaje de la capacidad total que ocupó cada elemento.

Tabla 4.7 Comparación de los métodos a través del porcentaje de capacidad ocupado

Elemento	**Esfuerzo**	**ASD**	**LRFD**
Viga de piso	Flexión, compresión	1,39	1,12
	Cizalle	0,37	0,35
	Deformación	0,9	0,67
Costanera	Flexión, compresión	0,73	0,34
	Cizalle	0,141	0,081
	Deformación	0,533	0,32
Viga de techo	Flexión, compresión	1,07	0,51
	Cizalle	0,25	0,14
	Deformación	0,51	0,21
Pie derecho, esquina	Flexión, compresión	0,50	0,22
	Cizalle	0,07	0,06
	Deformación	0,22	0,17
Pie derecho, central	Flexión, compresión	1,71	0,66
	Cizalle	0,12	0,05
	Deformación	0,29	0,24

Según los resultados obtenidos en la tabla 4.7, se observa que el método LRFD arroja menores valores en todos los criterios que medimos. Como sabemos el método de tensiones admisibles es el primero que surgió para el diseño, por lo cual se ve afectado por factores de seguridad que subestiman la capacidad del elemento, quedando así como método conservador. En cambio LRFD trabaja con la máxima capacidad del elemento, por lo que a pesar que la tensión de diseño se vea disminuida por los factores de modificación, el elemento puede ocupar su capacidad al límite de falla.

En las deflexiones máximas también observamos diferencias, para ASD las flechas máximas para vigas principales es L/300 usando la combinación (D+L) y L/360 para (L), en cambio para LRFD se definen deformaciones máximas para estados de

carga como (L+D) que es de L/240 y para la carga de viento W donde la máxima deformación permitida es de L/360.

Finalmente vemos que la calidad C16 para nuestro estructura, no es apta para el método de tensiones admisibles según NCh 1198, debido a que el esfuerzo admisible por flexión es muy bajo F_f= 52 (kg/cm^2), por lo tanto en este caso se consideraría aumentar la calidad a un C24 donde F_f= 93 (kg/cm^2), o optar por un grado G1 de la clasificación visual que sería suficiente para cumplir con todas las verificaciones de ASD. Pero para LRFD la calidad de las piezas de C16 es suficiente para cumplir todas las verificaciones, exceptuando las vigas de piso, donde simplemente se disminuiría el ancho tributario del elemento para cumplir con la verificación, con esto C16 sería óptimo para la estructura que se ha diseñado.

Por lo tanto a grandes rasgos el mejor beneficio que nos ofrece el método LRFD es la economía la cual se obtiene después de la optimización de los elementos, lo que depende del criterio del ingeniero calculista.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Conceptualmente ambos métodos de cálculo LRFD y ASD son similares, las diferencias más significativas son la mayoración de cargas y diseñar las piezas al límite de rotura según el método LRFD. La principal ventaja que presenta el método LRFD es la economía en la construcción debido a que considera la tensión máxima en rotura, lo que hace que requiera menor cantidad y/o calidad de piezas en comparación al método ASD.

En el transcurso del proyecto nos damos cuenta que el principal problema que enfrenta nuestro país en la construcción de madera no es el método de cálculo si no la no clasificación previa de la madera que participa en el mercado que interactuará finalmente con el cálculo, esto a pesar de que la normativa para caracterizar y clasificar existe en el país.

El concepto de calidad de madera tampoco es dominado por los diferentes actores que usan la madera como material de construcción. Cada uno de ellos debería entender el concepto de calidad de madera desde su punto de vista. El problema de calidad de la madera afecta tanto al ingeniero calculista, al constructor como al mandante; al ingeniero calculista porque define una clase estructural para el proyecto de madera, al constructor porque no encuentra la clase estructural en el retail y al mandante porque no obtiene calidad en su proyecto.

Por lo tanto es necesario que en nuestra región desarrolle e invierta en clasificar madera para su correcta graduación estructural visual o mecánica, que es la mejor forma de garantizar la calidad estructural al consumidor. Para esto es necesario formar clasificadores y certificadores profesionales que dominen la madera como un material de construcción y la normativa existente para su clasificación estructural. Así obtendríamos plena satisfacción en todas las partes comprometidas o involucradas en la construcción con madera.

BIBLIOGRAFIA

Acuña, L., Llorente, A., & Casado, M. (2001). Estudio Comparativo entre Normas de Ensayo para Madera de Pinus Sylvestris L. en Uso Resistente. III Congreso Forestal Español.Granada.

AF&PA/ASCE. (1995). Comentario, Manual LRFD para Construcciones de Madera. New York: ASCE.

Ananías, R. (2004). Física de la madera. Departamento de Ingeniería en maderas Universidad del Bíobío, Chile , 41.

Arauco. (2005). Ingeniería y Construcción en Madera. Arauco.

Association, A. F. (2005). Manual for Ingineered Wood Construction ASD/LRFD. Estados Unidos: AF&PA American Wood Council.

Baradit, e., & Fuentealba, C. (2002). Determinación de las constantes elásticas del Pinus Radiata D.Don por ultrasonido. Actas VIII Reunión de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales , 1-4.

Breyer, D. E., Fridley, K. J., Cobeen, K. E., & Pollock, D. G. (2007). Design of Wood Structures ASD/LRFD. Nueva York: The McGraw-Hill Companies.

Carballo, E. J., Hermoso, P. E., & Díez, B. R. (2009). Ensayos no Destructivos sobre Madera Estructural, Una Revisión de 30 años en España. Kurú, Revista Forestal(Costa Rica) 6(17) .

Cerda, G. (2012). Madera Estructural y Tableros Terciados en Chile, CMPC Maderas. Primer Seminario de Construcción en Maderas INFOR sede Valdivia-CTT de Corma .

Corma. (2003). Centro de Tranferencia Tecnologica Pino Radiata.

Corma. (2000). La Construccion de Viviendas en Madera. Centro de Transferencia Teconologica , 14.

Dávalos, R. (1996). Diseño probabilístico de estructuras de madera en Norteamérica. Maderas y Bosques 2(1) .

Denis, A. (2009). Estrategia del uso de la madera para la construcción en Québec. Seminario Internacional y Ronda de Negocios, Instituto Forestal de Chile-INFOR .

Diaz-vaz, J. (2003). Anatomía de Maderas. Valdivia.

Díaz-vaz, J., & Cuevas, H. (1986). Mecanica de la madera. Valdivia.

Edelstein, R. (2002). Madera. Puerto Rico.

Escala, E., Thomson, E., & Contreras, W. (2001). Evaluación del estado actual del método de diseño de los estados límites (LSD) para estructuras de maderas (capítulo II). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales .

Fritz, A. (2012). La construcción de viviendas en madera. Concepción.

Galaz, V. P. (1983). Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas. Santiago de Chile.

García, E., Guindeo, A., Peraza, C., & de Palacios, P. (2003). La madera y su anatomía. Madrid: Mundi-Prensa.

González, M. (2012). Uso Eficiente de la Madera en la Construcción. Primer Seminario de Construcción en Maderas, INFOR Sede Valdivia- CTT de Corma .

Herrero, M. E. (2003). Determinación de la Capacidad Resistente de la Madera Estructural de Gran Escuadría y su Aplicacion en Estructuras Existentes de Madera Conífera.

INN. (1971). Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. NCh 432 Of.71. Chile.

INN. (1986). Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecargas de uso. NCh 1537 Of.86. Chile.

INN. (1996). Diseño sismico de edificios. NCh 433 Of.96. Chile.

INN. (1986). Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Condiciones generales para los ensayos. Norma NCh 969 Of.86. Chile.

INN. (1986). Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo en flexión estática. Norma NCh 987 Of.86. Chile.

INN. (1984). Madera - Parte 1. Determinación de la humedad. Norma NCh 176/1 Of.84. Chile.

INN. (1984). Madera - Parte 2. Determinación de la densidad. Norma NCh 176/2 Of.84. Chile.

INN. (2006). Madera-Construcciones en madera-Cálculo norma NCh 1198 Of. 2006. Chile.

INN. (2006). Madera-Construcciones en madera-Cálculo norma NCh 1198 og 2006. Chile.

INN. (1990). Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural -Especificaciones de los grados de calidad. Norma NCh 1207 Of.90. Chile.

Johansson, G., Kliger, R., & Perstorper, M. (1990). Timber quality and its definition: an interdisciplinary communication problem. IUFRO Timber Engineering Meeting, Saint-John, NB. (Original no consultado, citado por: Zhang,S.Y. 2011.Wood Quality Atributes and Their impacts on Wood Utilization. XII Congreso Forestal Mundial, Québec City .

Kliger, I., Johansson, G., Perstorper, M., & Engström, D. (1994). Formulation of requirements for the quality of wood properties used by the construction industry. Chalmers Univ. Technol., Göteborg, Sweden. (Original no consultado, citado por: Zhang,S.Y. 2011.Wood Quality Atributes and Their impacts on Wood Utilization. XII Congreso Forestal Mundial, Québec City .

Lomagno, J. (2009). Esfuerzos característicos y de diseño en piezas estructurales de madera. Resistencias de diseño de maderas de la patagonia. CIEFAP-Patagonia Forestal , 9-12.

Maldonado, S. H. (2010). Comportamiento Elástico de la Madera. Morelia.

Vásquez, A. (2005). Evaluación del efecto de la clasificación dimensional de madera aserrada, sobre la calidad del secado en Pinus radiata. Tesis pregrado de Ing. en Maderas, Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. Cien. For , 37 p.

Vignote, S., & Martinez, I. (2006). Tecnología de la madera. Madrid: Mundi-Prensa.

Wagner, M. (29-31 de Julio de 2009). La madera, fuente de riqueza y oportunidades en la construcción y la infraestructura vial. Seminario Internacional y Ronda de Negocios .

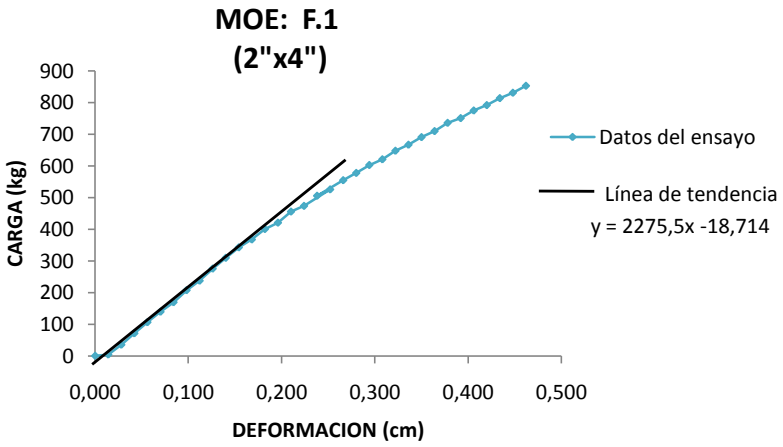
Zhang, S. (2011). Wood Quality Atributes and Their impacts on Wood Utilization. XII Congreso Forestal Mundial, Québec City .

ANEXOS

ANEXO A

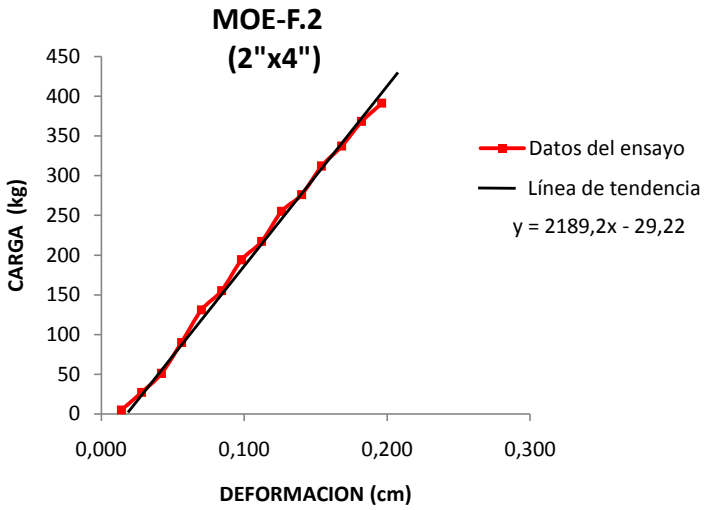
GRAFICOS DEL MOE PARA PIEZAS DE BARRACA 1

Datos de ensayo F.1	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,462	853,00
0,448	831,00
0,434	814,00
0,420	792,00
0,406	775,00
0,392	751,00
0,378	736,00
0,364	710,00
0,350	691,00
0,336	667,00
0,322	648,00
0,308	621,00
0,294	603,00
0,280	578,00
0,266	555,00
0,238	506,00
0,252	526,00
0,224	474,00
0,210	456,00
0,196	421,00
0,182	401,00
0,168	368,00
0,154	343,00
0,140	310,00
0,126	276,00
0,112	238,00
0,098	208,00
0,084	170,00
0,070	140,00
0,056	107,00
0,042	72,00
0,028	36,00
0,014	5,00
0,000	1,00



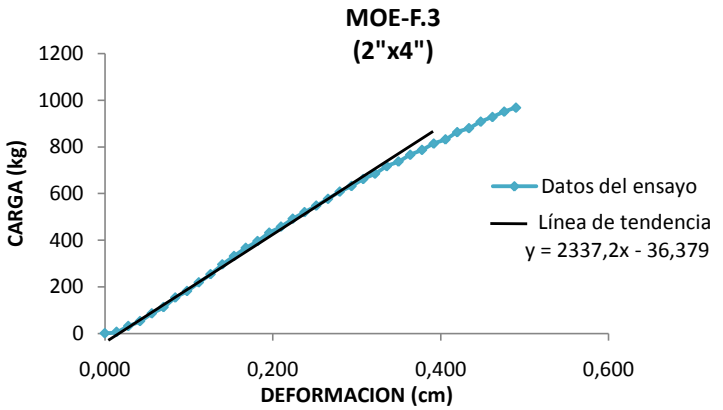
MOE FINAL	35102,13
Qmax	1914,5
Tipo de falla	Falla abrupta en la fibra.

Datos de ensayo F.2	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,196	391,00
0,182	368,00
0,168	337,00
0,154	312,00
0,140	276,00
0,126	255,00
0,112	217,00
0,098	194,00
0,084	155,00
0,070	131,00
0,056	90,00
0,042	51,00
0,028	27,00
0,014	5,00
0,000	4,00



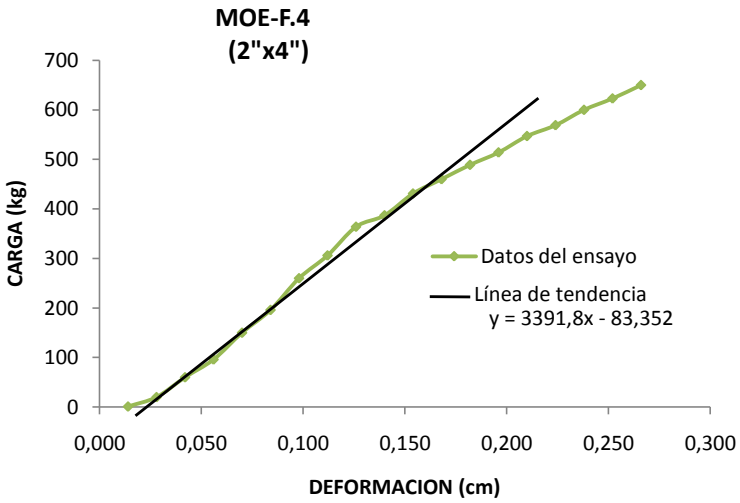
MOE final	32421,02
Qmax	1775,5
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.3	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,490	968,00
0,476	951,00
0,462	928,00
0,448	908,00
0,434	880,00
0,420	863,00
0,406	832,00
0,392	814,00
0,378	787,00
0,364	766,00
0,350	737,00
0,336	717,00
0,322	685,00
0,308	662,00
0,294	632,00
0,280	608,00
0,266	577,00
0,252	548,00
0,238	520,00
0,224	492,00
0,210	458,00
0,196	432,00
0,182	396,00
0,168	367,00
0,154	332,00
0,140	296,00
0,126	254,00
0,112	219,00
0,098	182,00
0,084	154,00
0,070	113,00
0,056	86,00
0,042	53,00
0,028	32,00
0,014	7,00
0,000	1,00



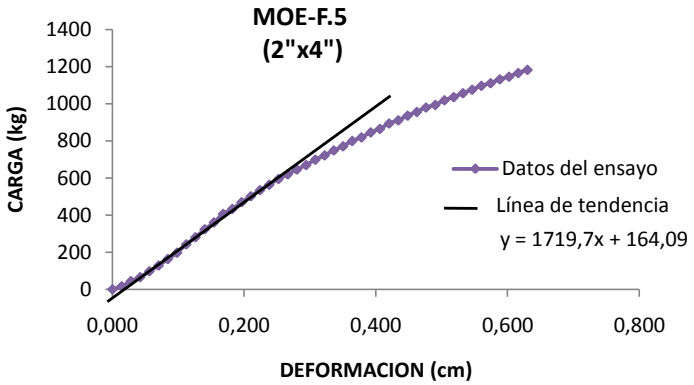
MOE FINAL	36131,59
Qmax	2131,00
Tipo de falla	Falla por tensión simple

Datos de ensayo F.4	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,266	650,00
0,252	623,00
0,238	600,00
0,224	569,00
0,210	547,00
0,196	514,00
0,182	489,00
0,168	460,00
0,154	431,00
0,140	387,00
0,126	364,00
0,112	306,00
0,098	260,00
0,084	196,00
0,070	150,00
0,056	96,00
0,042	60,00
0,028	20,00
0,014	1,00

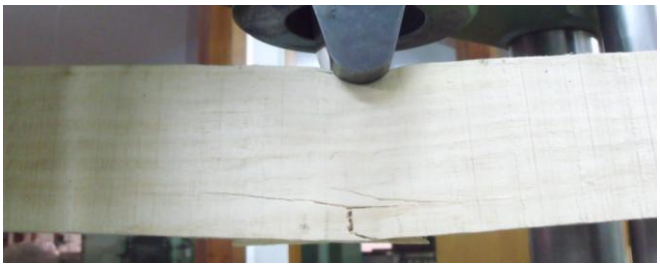


MOE FINAL	37067,39
Qmax	2074,00
Tipo de falla	Falla por tensión simple

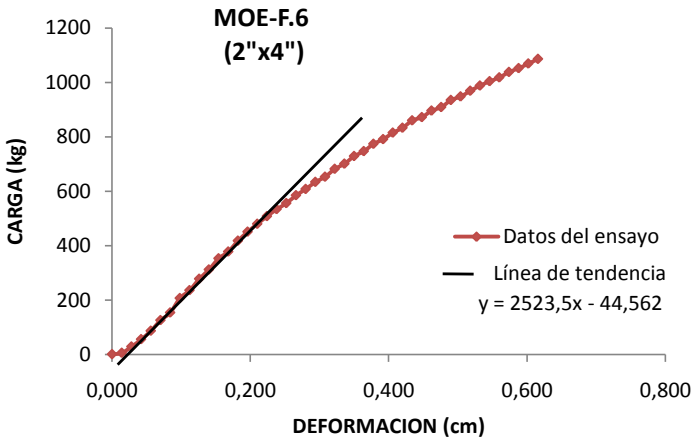
Datos de ensayo F.5	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,630	1183,00
0,616	1166,00
0,602	1146,00
0,588	1132,00
0,574	1111,00
0,560	1097,00
0,546	1076,00
0,532	1057,00
0,518	1036,00
0,504	1019,00
0,490	994,00
0,476	980,00
0,462	956,00
0,448	936,00
0,434	911,00
0,420	894,00
0,406	865,00
0,392	846,00
0,378	819,00
0,364	800,00
0,350	771,00
0,336	749,00
0,322	722,00
0,308	699,00
0,294	670,00
0,280	646,00
0,266	620,00
0,252	595,00
0,238	564,00
0,224	535,00
0,210	502,00
0,196	470,00
0,182	434,00
0,168	407,00
0,154	361,00
0,140	324,00
0,126	281,00
0,112	243,00
0,098	198,00
0,084	164,00
0,070	129,00
0,056	98,00
0,042	66,00
0,028	45,00
0,014	17,00
0,000	1,00



MOE final	38009,70
Qmax	2169,50
Tipo de falla	Falla por tensión simple

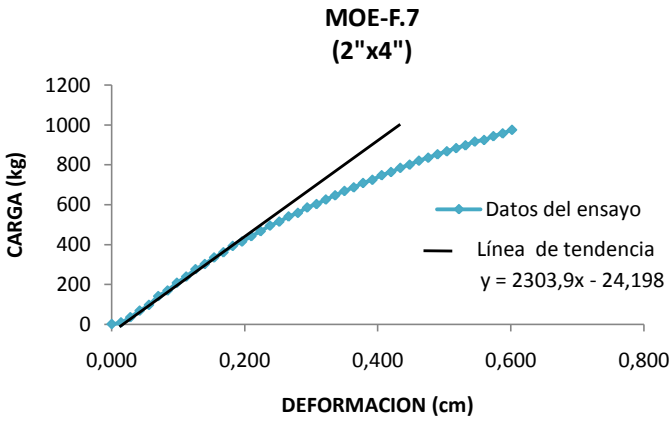


Datos de ensayo F.6	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,616	1086,00
0,602	1069,00
0,588	1052,00
0,574	1038,00
0,560	1018,00
0,546	1004,00
0,532	988,00
0,518	969,00
0,504	948,00
0,490	935,00
0,476	909,00
0,462	896,00
0,448	872,00
0,434	860,00
0,420	833,00
0,406	815,00
0,392	791,00
0,378	774,00
0,364	747,00
0,350	729,00
0,336	701,00
0,322	682,00
0,308	653,00
0,294	634,00
0,280	608,00
0,266	585,00
0,252	556,00
0,238	534,00
0,224	508,00
0,210	480,00
0,196	451,00
0,182	418,00
0,168	378,00
0,154	353,00
0,140	312,00
0,126	278,00
0,112	236,00
0,098	207,00
0,084	154,00
0,070	126,00
0,056	87,00
0,042	56,00
0,028	29,00
0,014	6,00
0,000	1,00



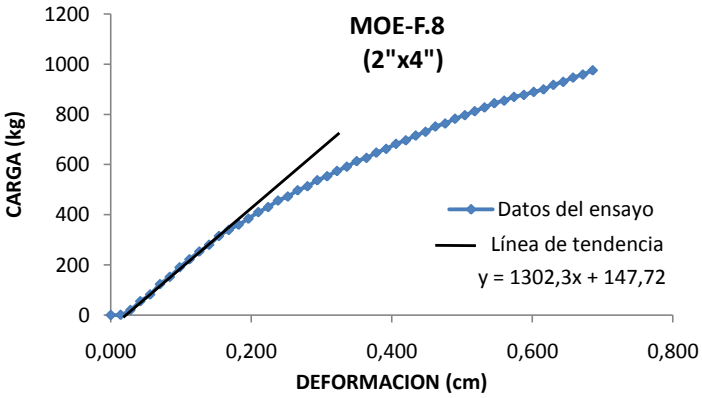
MOE final	34361,88
Qmax	1958,00
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.7	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,602	976,00
0,588	958,00
0,574	944,00
0,560	925,00
0,546	917,00
0,532	898,00
0,518	884,00
0,504	868,00
0,490	853,00
0,476	836,00
0,462	821,00
0,448	801,00
0,434	785,00
0,420	764,00
0,406	748,00
0,392	725,00
0,378	709,00
0,364	687,00
0,350	669,00
0,336	647,00
0,322	626,00
0,308	603,00
0,294	586,00
0,280	559,00
0,266	541,00
0,252	515,00
0,238	495,00
0,224	467,00
0,210	442,00
0,196	415,00
0,182	393,00
0,168	361,00
0,154	335,00
0,140	302,00
0,126	276,00
0,112	239,00
0,098	208,00
0,084	169,00
0,070	141,00
0,056	97,00
0,042	68,00
0,028	35,00
0,014	9,00
0,000	1,00



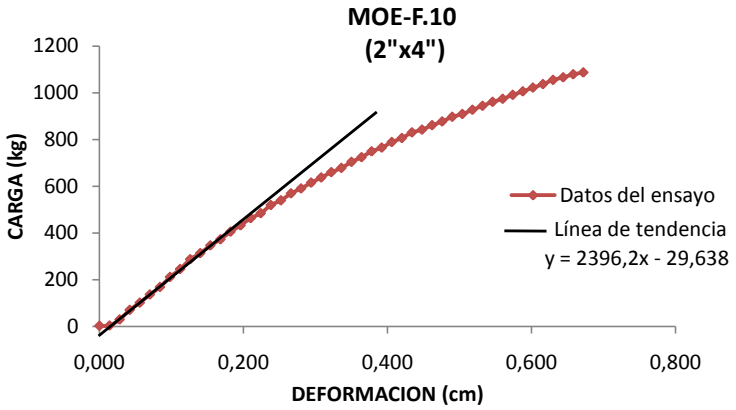
MOE final	34900,79
Qmax	2042,00
Tipo de falla	Falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo F.8	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,686	976,00
0,672	959,00
0,658	947,00
0,644	930,00
0,630	918,00
0,616	900,00
0,602	890,00
0,588	878,00
0,574	870,00
0,560	855,00
0,546	845,00
0,532	828,00
0,518	813,00
0,504	797,00
0,490	783,00
0,476	764,00
0,462	752,00
0,448	731,00
0,434	716,00
0,420	697,00
0,406	683,00
0,392	663,00
0,378	648,00
0,364	627,00
0,350	614,00
0,336	592,00
0,322	575,00
0,308	554,00
0,294	538,00
0,280	514,00
0,266	498,00
0,252	473,00
0,238	457,00
0,224	431,00
0,210	411,00
0,196	385,00
0,182	361,00
0,168	340,00
0,154	316,00
0,140	281,00
0,126	254,00
0,112	223,00
0,098	191,00
0,084	153,00
0,070	124,00
0,056	83,00
0,042	56,00
0,028	21,00
0,014	2,00
0,000	1,00



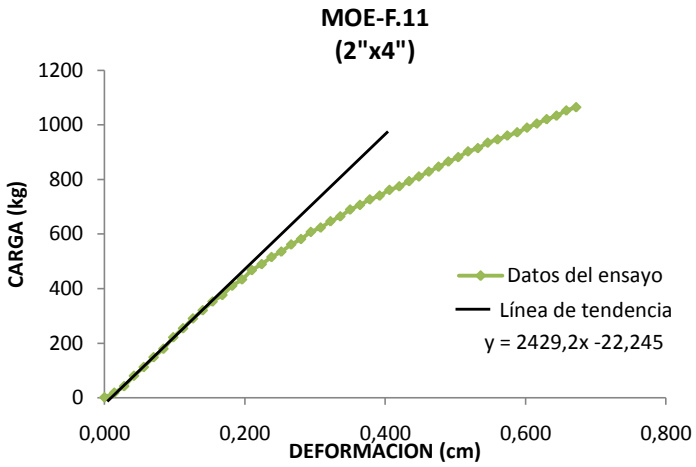
MOE final	31482,80
Qmax	1630,50
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.10	
Deformacion(cm)	Carga(kg)
0,672	1087,00
0,658	1079,00
0,644	1066,00
0,630	1055,00
0,616	1037,00
0,602	1022,00
0,588	1006,00
0,574	991,00
0,560	974,00
0,546	961,00
0,532	944,00
0,518	927,00
0,504	909,00
0,490	897,00
0,476	877,00
0,462	861,00
0,448	842,00
0,434	830,00
0,420	806,00
0,406	789,00
0,392	765,00
0,378	749,00
0,364	724,00
0,350	704,00
0,336	678,00
0,322	660,00
0,308	637,00
0,294	615,00
0,280	590,00
0,266	569,00
0,252	539,00
0,238	519,00
0,224	484,00
0,210	463,00
0,196	432,00
0,182	405,00
0,168	372,00
0,154	346,00
0,140	313,00
0,126	287,00
0,112	245,00
0,098	211,00
0,084	168,00
0,070	136,00
0,056	101,00
0,042	70,00
0,028	29,00
0,014	3,00
0,000	2,00



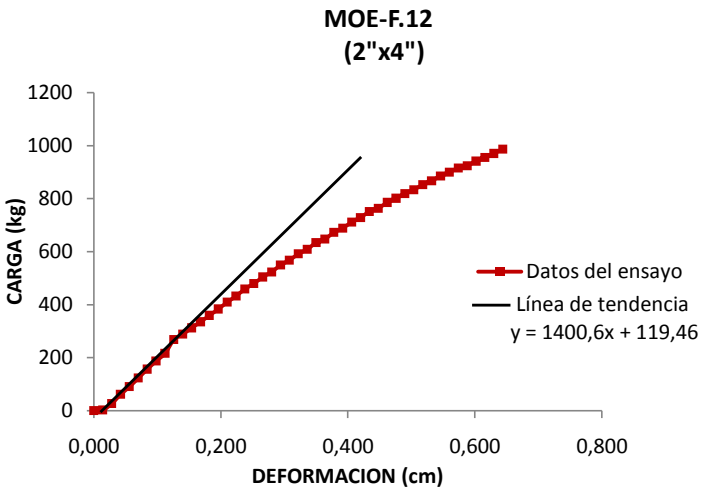
MOE final	35164,73
Qmax	1865,50
Tipo de falla	Falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo F.11	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,672	1064,00
0,658	1052,00
0,644	1033,00
0,630	1020,00
0,616	1004,00
0,602	989,00
0,588	972,00
0,574	960,00
0,560	946,00
0,546	934,00
0,532	914,00
0,518	902,00
0,504	881,00
0,490	865,00
0,476	846,00
0,462	828,00
0,448	810,00
0,434	793,00
0,420	774,00
0,406	761,00
0,392	740,00
0,378	726,00
0,364	706,00
0,350	689,00
0,336	664,00
0,322	646,00
0,308	623,00
0,294	607,00
0,280	581,00
0,266	561,00
0,252	535,00
0,238	515,00
0,224	489,00
0,210	467,00
0,196	433,00
0,182	410,00
0,168	376,00
0,154	352,00
0,140	320,00
0,126	290,00
0,112	254,00
0,098	221,00
0,084	179,00
0,070	148,00
0,056	112,00
0,042	80,00
0,028	42,00
0,014	18,00
0,000	1,00



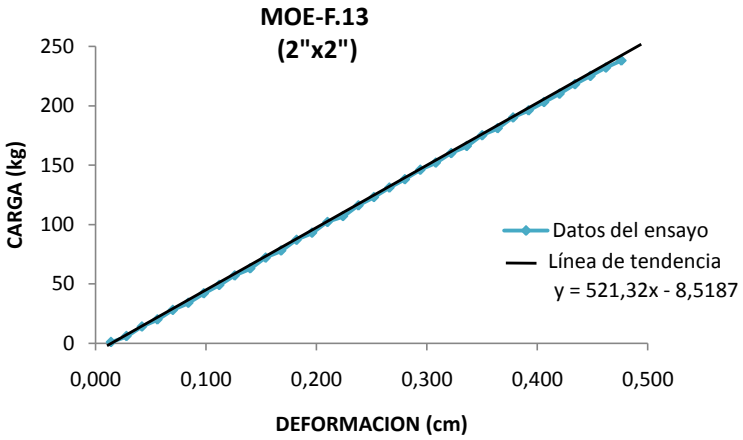
MOE final	36997,95
Qmax	1820,50
Tipo de falla	Falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo F.12	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,644	987,00
0,630	971,00
0,616	956,00
0,602	942,00
0,588	924,00
0,574	916,00
0,560	900,00
0,546	886,00
0,532	868,00
0,518	853,00
0,504	834,00
0,490	819,00
0,476	802,00
0,462	786,00
0,448	764,00
0,434	752,00
0,420	729,00
0,406	712,00
0,392	689,00
0,378	673,00
0,364	648,00
0,350	635,00
0,336	609,00
0,322	592,00
0,308	568,00
0,294	550,00
0,280	524,00
0,266	505,00
0,252	480,00
0,238	460,00
0,224	433,00
0,210	410,00
0,196	384,00
0,182	360,00
0,168	336,00
0,154	313,00
0,140	289,00
0,126	269,00
0,112	217,00
0,098	188,00
0,084	157,00
0,070	124,00
0,056	91,00
0,042	62,00
0,028	27,00
0,014	3,00
0,000	1,00



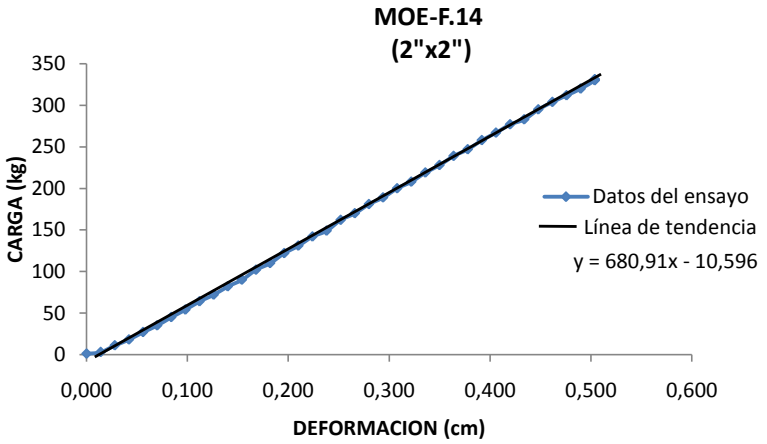
MOE final	31418,49
Qmax	1976,00
Tipo de falla	Falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo F.13	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,476	238,00
0,462	232,00
0,448	225,00
0,434	218,00
0,420	210,00
0,406	203,00
0,392	196,00
0,378	190,00
0,364	181,00
0,350	175,00
0,336	166,00
0,322	160,00
0,308	152,00
0,294	146,00
0,280	138,00
0,266	131,00
0,252	123,00
0,238	116,00
0,224	107,00
0,210	102,00
0,196	93,00
0,182	87,00
0,168	78,00
0,154	72,00
0,140	63,00
0,126	57,00
0,112	49,00
0,098	42,00
0,084	34,00
0,070	28,00
0,056	20,00
0,042	14,00
0,028	6,00
0,014	1,00



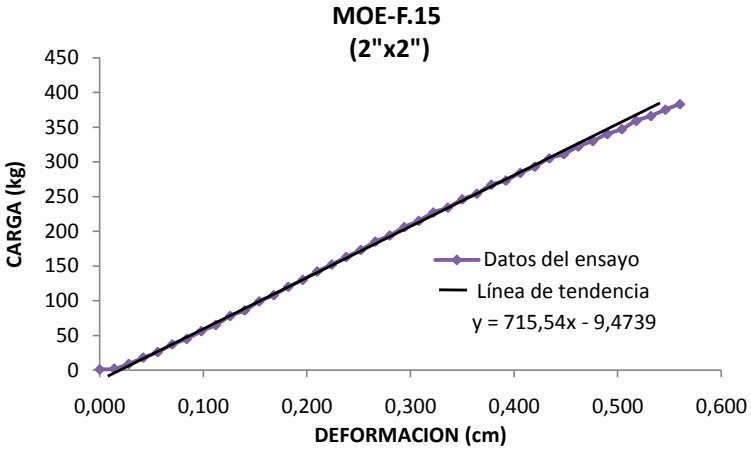
MOE final	67304,60
Qmax	389,00
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.14	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,504	331,00
0,504	331,00
0,504	331,00
0,504	330,00
0,490	320,00
0,476	312,00
0,462	304,00
0,448	295,00
0,434	283,00
0,420	277,00
0,406	267,00
0,392	258,00
0,378	247,00
0,364	239,00
0,350	228,00
0,336	219,00
0,322	208,00
0,308	200,00
0,294	189,00
0,280	181,00
0,266	170,00
0,252	162,00
0,238	149,00
0,224	142,00
0,210	131,00
0,196	122,00
0,182	110,00
0,168	102,00
0,154	90,00
0,140	82,00
0,126	72,00
0,112	64,00
0,098	54,00
0,084	45,00
0,070	35,00
0,056	27,00
0,042	18,00
0,028	11,00
0,014	3,00
0,000	1,00



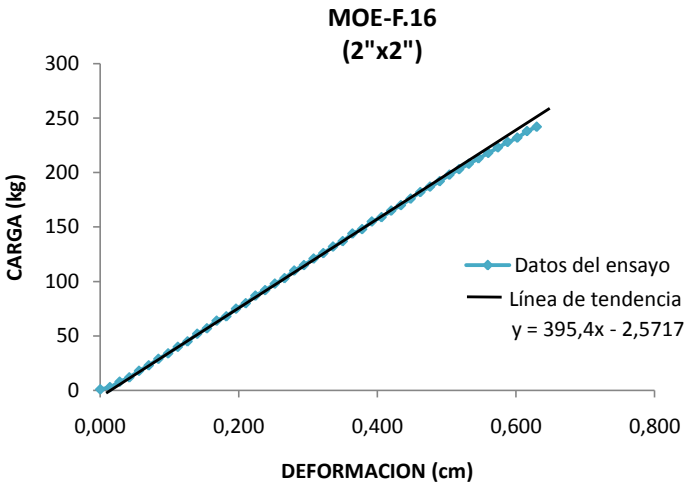
MOE final	88171,18
Qmax	676,00
Tipo de falla	Falla por tension simple

Datos de ensayo F.15	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,560	383,00
0,546	375,00
0,532	366,00
0,518	359,00
0,504	347,00
0,490	340,00
0,476	330,00
0,462	322,00
0,448	311,00
0,434	305,00
0,420	293,00
0,406	284,00
0,392	273,00
0,378	267,00
0,364	254,00
0,350	246,00
0,336	234,00
0,322	227,00
0,308	215,00
0,294	206,00
0,280	194,00
0,266	185,00
0,252	173,00
0,238	163,00
0,224	152,00
0,210	142,00
0,196	130,00
0,182	120,00
0,168	108,00
0,154	99,00
0,140	86,00
0,126	78,00
0,112	65,00
0,098	56,00
0,084	45,00
0,070	37,00
0,056	26,00
0,042	18,00
0,028	9,00
0,014	2,00
0,000	1,00



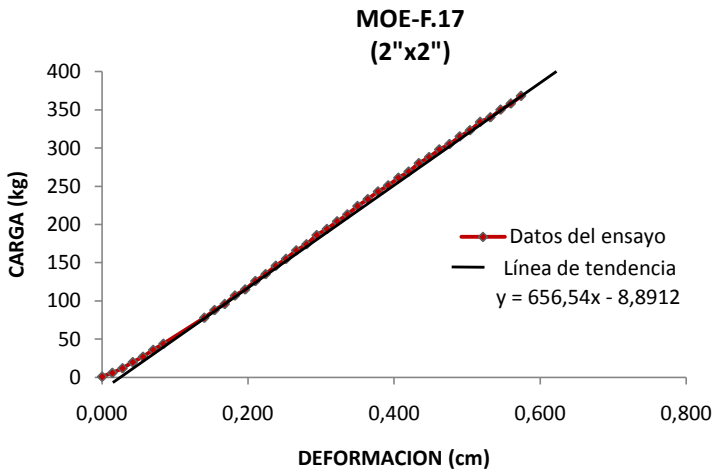
MOE final	93478,36
Qmax	632,50
Tipo de falla	Falla por desv. de la fibra

Datos de ensayo F.16	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,630	242,00
0,616	238,00
0,602	232,00
0,588	228,00
0,574	223,00
0,560	218,00
0,546	213,00
0,532	208,00
0,518	203,00
0,504	198,00
0,490	192,00
0,476	187,00
0,462	182,00
0,448	176,00
0,434	170,00
0,420	165,00
0,406	159,00
0,392	155,00
0,378	148,00
0,364	144,00
0,350	137,00
0,336	132,00
0,322	126,00
0,308	121,00
0,294	115,00
0,280	110,00
0,266	103,00
0,252	98,00
0,238	92,00
0,224	87,00
0,210	80,00
0,196	75,00
0,182	68,00
0,168	64,00
0,154	57,00
0,140	52,00
0,126	45,00
0,112	40,00
0,098	34,00
0,084	29,00
0,070	23,00
0,056	18,00
0,042	12,00
0,028	8,00
0,014	3,00
0,000	1,00



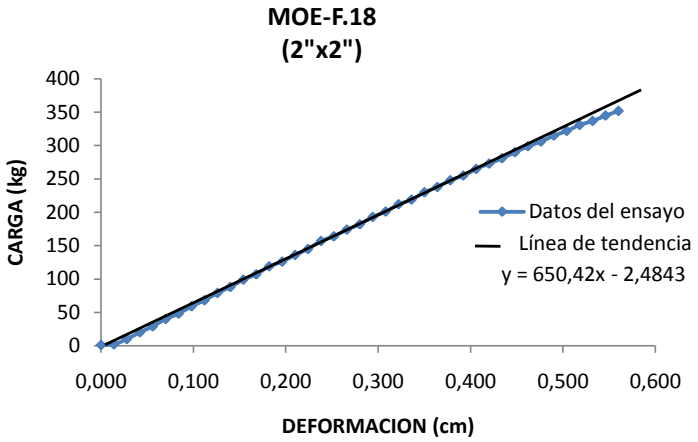
MOE final	52974,78
Qmax	385,50
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.17	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,574	368,00
0,560	358,00
0,546	350,00
0,532	340,00
0,518	334,00
0,504	323,00
0,490	315,00
0,476	305,00
0,462	298,00
0,448	288,00
0,434	280,00
0,420	269,00
0,406	261,00
0,392	251,00
0,378	243,00
0,364	233,00
0,350	224,00
0,336	213,00
0,322	204,00
0,308	194,00
0,294	186,00
0,280	174,00
0,266	166,00
0,252	155,00
0,238	146,00
0,224	135,00
0,210	126,00
0,196	115,00
0,182	107,00
0,168	96,00
0,154	88,00
0,140	78,00
0,084	44,00
0,070	36,00
0,056	27,00
0,042	20,00
0,028	12,00
0,014	6,00
0,000	1,00



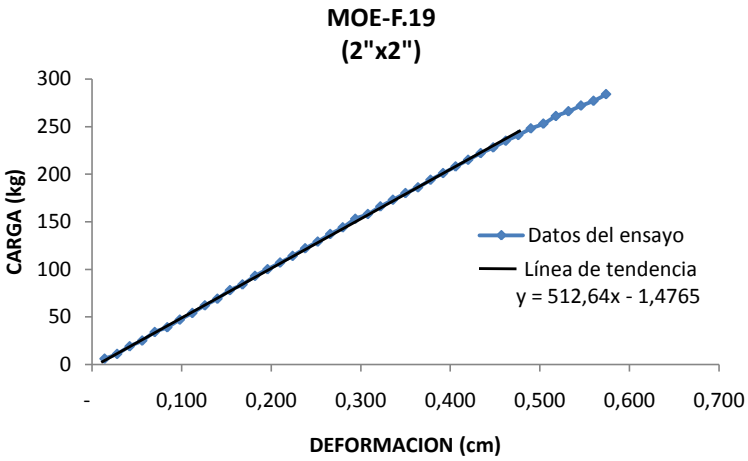
MOE final	85672,25
Qmax	675,00
Tipo de falla	Falla por desv. de la fibra

Datos de ensayo F.18	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,560	352,00
0,546	345,00
0,532	337,00
0,518	331,00
0,504	322,00
0,490	315,00
0,476	306,00
0,462	299,00
0,448	290,00
0,434	281,00
0,420	273,00
0,406	265,00
0,392	255,00
0,378	248,00
0,364	238,00
0,350	230,00
0,336	219,00
0,322	212,00
0,308	201,00
0,294	193,00
0,280	182,00
0,266	174,00
0,252	164,00
0,238	157,00
0,224	145,00
0,210	136,00
0,196	126,00
0,182	119,00
0,168	107,00
0,154	99,00
0,140	88,00
0,126	79,00
0,112	68,00
0,098	59,00
0,084	48,00
0,070	40,00
0,056	29,00
0,042	20,00
0,028	10,00
0,014	2,00
0,000	1,00



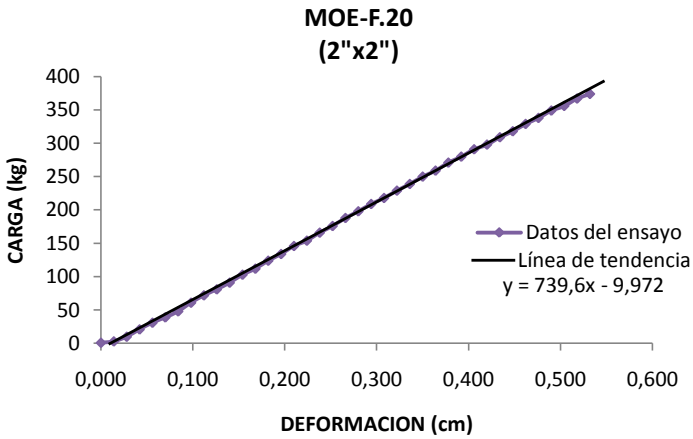
MOE final	88006,85
Qmax	650,00
Tipo de falla	Falla por desv. de la fibra

Datos de ensayo F.19	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,574	284,00
0,560	277,00
0,546	272,00
0,532	266,00
0,518	261,00
0,504	253,00
0,490	248,00
0,476	241,00
0,462	235,00
0,448	228,00
0,434	222,00
0,420	215,00
0,406	208,00
0,392	201,00
0,378	194,00
0,364	186,00
0,350	180,00
0,336	173,00
0,322	166,00
0,308	158,00
0,294	153,00
0,280	144,00
0,266	137,00
0,252	129,00
0,238	122,00
0,224	114,00
0,210	107,00
0,196	100,00
0,182	93,00
0,168	84,00
0,154	78,00
0,140	69,00
0,126	62,00
0,112	54,00
0,098	47,00
0,084	39,00
0,070	34,00
0,056	25,00
0,042	19,00
0,028	11,00
0,014	6,00



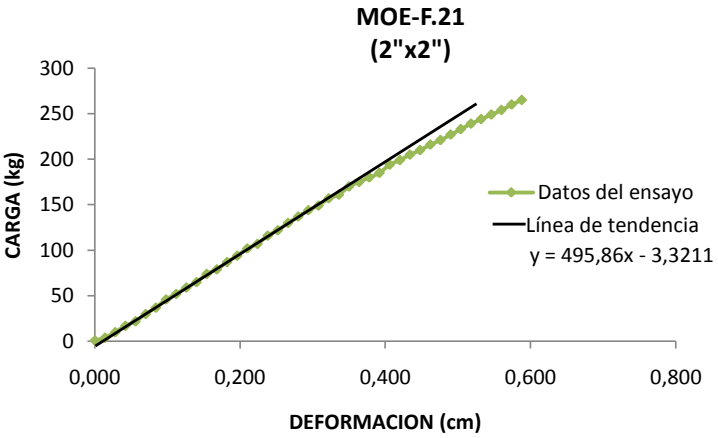
MOE final	69602,73
Qmax	550,00
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.20	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,532	374,00
0,518	367,00
0,504	356,00
0,490	349,00
0,476	338,00
0,462	329,00
0,448	318,00
0,434	309,00
0,420	298,00
0,406	291,00
0,392	280,00
0,378	271,00
0,364	259,00
0,350	250,00
0,336	239,00
0,322	229,00
0,308	218,00
0,294	209,00
0,280	198,00
0,266	188,00
0,252	176,00
0,238	166,00
0,224	154,00
0,210	146,00
0,196	134,00
0,182	124,00
0,168	112,00
0,154	103,00
0,140	91,00
0,126	81,00
0,112	72,00
0,098	61,00
0,084	48,00
0,070	39,00
0,056	31,00
0,042	21,00
0,028	10,00
0,014	3,00
0,000	1,00



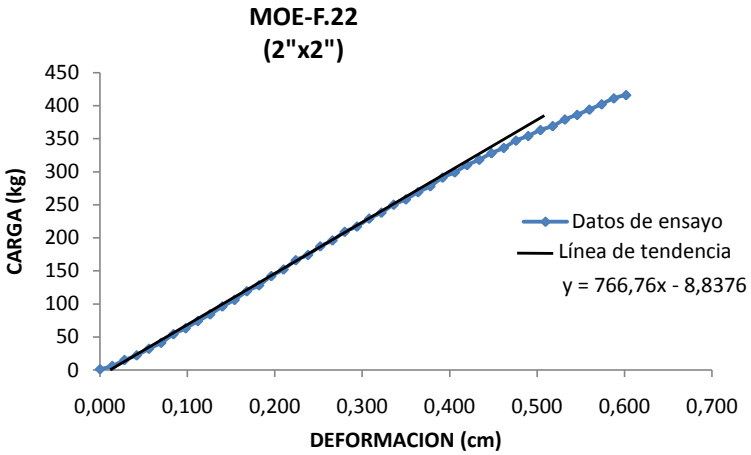
MOE final	96532,61
Qmax	665,00
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.21	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,588	265,00
0,574	260,00
0,560	254,00
0,546	249,00
0,532	244,00
0,518	239,00
0,504	233,00
0,490	227,00
0,476	221,00
0,462	216,00
0,448	210,00
0,434	205,00
0,420	199,00
0,406	194,00
0,392	185,00
0,378	180,00
0,364	175,00
0,350	170,00
0,336	161,00
0,322	157,00
0,308	149,00
0,294	144,00
0,280	137,00
0,266	130,00
0,252	122,00
0,238	116,00
0,224	107,00
0,210	102,00
0,196	94,00
0,182	87,00
0,168	79,00
0,154	74,00
0,140	65,00
0,126	59,00
0,112	52,00
0,098	46,00
0,084	37,00
0,070	30,00
0,056	22,00
0,042	17,00
0,028	10,00
0,014	4,00
0,000	1,00



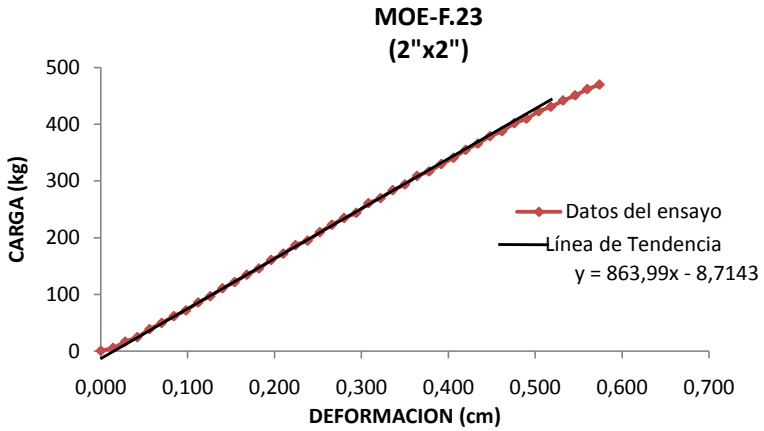
MOE final	64741,19
Qmax	417,00
Tipo de falla	Falla por astillamiento

Datos de ensayo F.22	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,602	416,00
0,588	411,00
0,574	402,00
0,560	394,00
0,546	386,00
0,532	379,00
0,518	369,00
0,504	363,00
0,490	354,00
0,476	347,00
0,462	336,00
0,448	328,00
0,434	318,00
0,420	310,00
0,406	299,00
0,392	291,00
0,378	278,00
0,364	269,00
0,350	258,00
0,336	250,00
0,322	238,00
0,308	229,00
0,294	217,00
0,280	209,00
0,266	196,00
0,252	187,00
0,238	174,00
0,224	166,00
0,210	152,00
0,196	142,00
0,182	128,00
0,168	119,00
0,154	106,00
0,140	96,00
0,126	84,00
0,112	74,00
0,098	63,00
0,084	54,00
0,070	41,00
0,056	32,00
0,042	22,00
0,028	15,00
0,014	6,00
0,000	1,00

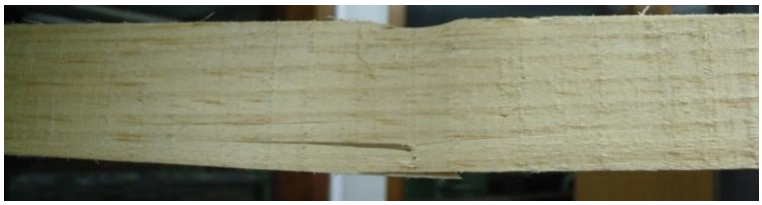


MOE final	96442,45
Qmax	618,00
Tipo de falla	Falla por desv. de la fibra

Datos de ensayo F.23	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,574	470,00
0,560	462,00
0,546	451,00
0,532	442,00
0,518	431,00
0,504	423,00
0,490	410,00
0,476	402,00
0,462	388,00
0,448	379,00
0,434	366,00
0,420	355,00
0,406	341,00
0,392	330,00
0,378	317,00
0,364	309,00
0,350	294,00
0,336	284,00
0,322	270,00
0,308	261,00
0,294	244,00
0,280	235,00
0,266	223,00
0,252	210,00
0,238	195,00
0,224	187,00
0,210	172,00
0,196	161,00
0,182	146,00
0,168	135,00
0,154	122,00
0,140	111,00
0,126	97,00
0,112	86,00
0,098	72,00
0,084	62,00
0,070	50,00
0,056	39,00
0,042	25,00
0,028	17,00
0,014	6,00
0,000	1,00

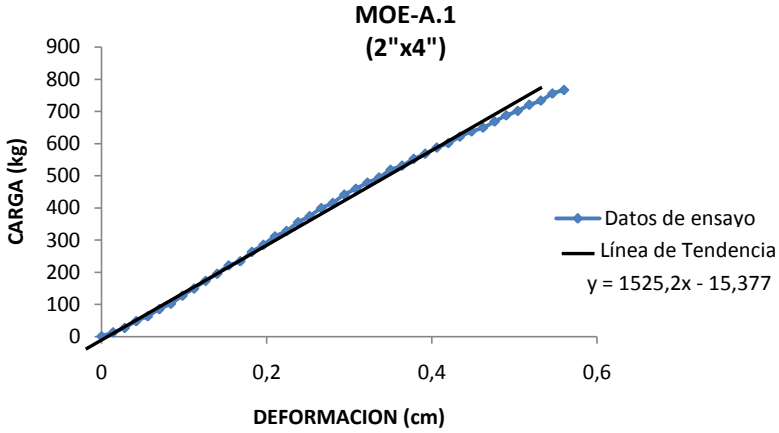


MOE final	111233,04
Qmax	781,50
Tipo de falla	Falla por tension simple



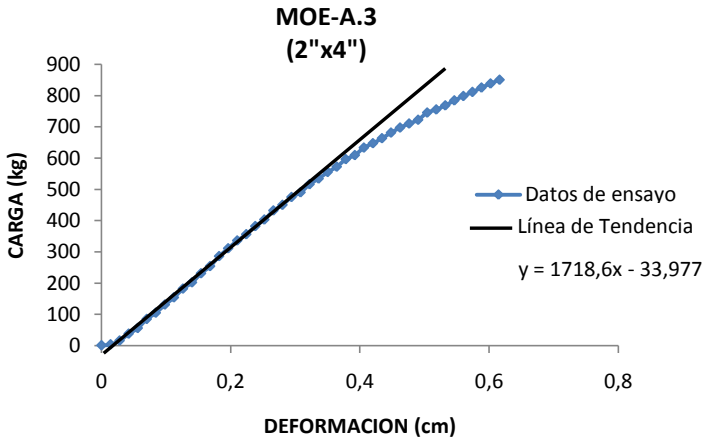
GRAFICOS DEL MOE PARA PIEZAS DE BARRACA 2

Datos de ensayo	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,56	766
0,546	755
0,532	733
0,518	720
0,504	701
0,49	687
0,476	668
0,462	649
0,448	637
0,434	621
0,42	601
0,406	587
0,392	568
0,378	552
0,364	531
0,35	518
0,336	494
0,322	478
0,308	459
0,294	441
0,28	415
0,266	399
0,252	374
0,238	355
0,224	328
0,21	311
0,196	285
0,182	263
0,168	234
0,154	221
0,14	195
0,126	173
0,112	149
0,098	127
0,084	102
0,07	85
0,056	63
0,042	48
0,028	27
0,014	13
0	1



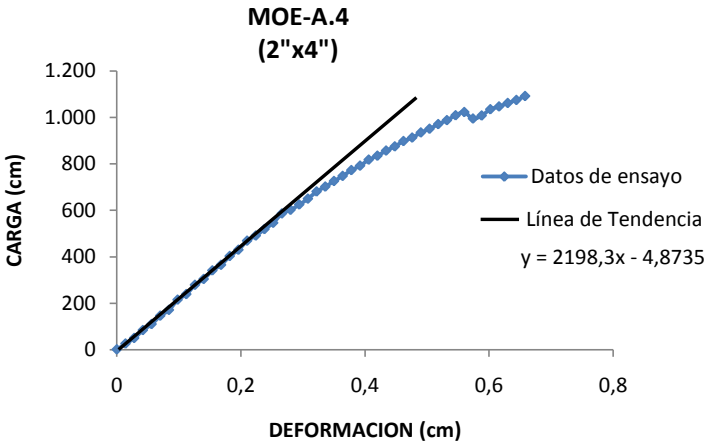
MOE final	24545,57
Qmax	1152,50
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo A.3	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,616	850
0,602	838
0,588	825
0,574	811
0,56	798
0,546	784
0,532	768
0,518	755
0,504	745
0,49	722
0,476	710
0,462	697
0,448	681
0,434	663
0,42	647
0,406	633
0,392	609
0,378	596
0,364	572
0,35	555
0,336	534
0,322	516
0,308	490
0,294	475
0,28	450
0,266	432
0,252	403
0,238	382
0,224	356
0,21	336
0,196	311
0,182	286
0,168	254
0,154	231
0,14	202
0,126	182
0,112	154
0,098	131
0,084	105
0,07	85
0,056	56
0,042	38
0,028	16
0,014	4
0	1



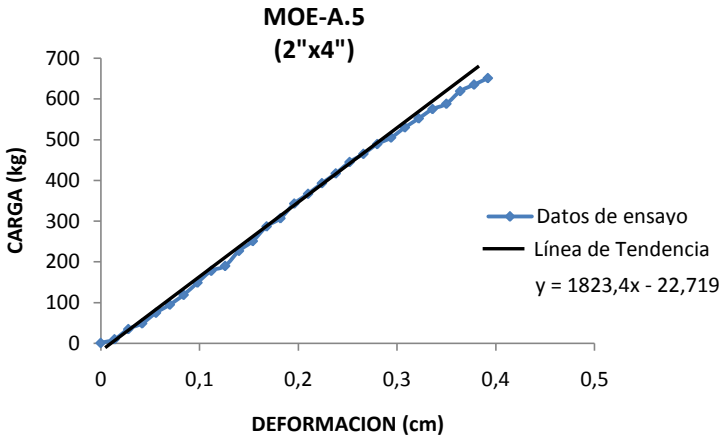
MOE final	25912,99
Qmax	1404,00
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo A.4	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,658	1.092
0,644	1.075
0,63	1.062
0,616	1.047
0,602	1.035
0,588	1.008
0,574	995
0,56	1.023
0,546	1.009
0,532	988
0,518	971
0,504	951
0,49	935
0,476	913
0,462	898
0,448	875
0,434	857
0,42	835
0,406	818
0,392	792
0,378	773
0,364	748
0,35	726
0,336	702
0,322	681
0,308	650
0,294	625
0,28	602
0,266	586
0,252	546
0,238	519
0,224	491
0,21	469
0,196	430
0,182	403
0,168	365
0,154	341
0,14	304
0,126	279
0,112	239
0,098	215
0,084	171
0,07	146
0,056	110
0,042	84
0,028	50
0,014	26
0	1



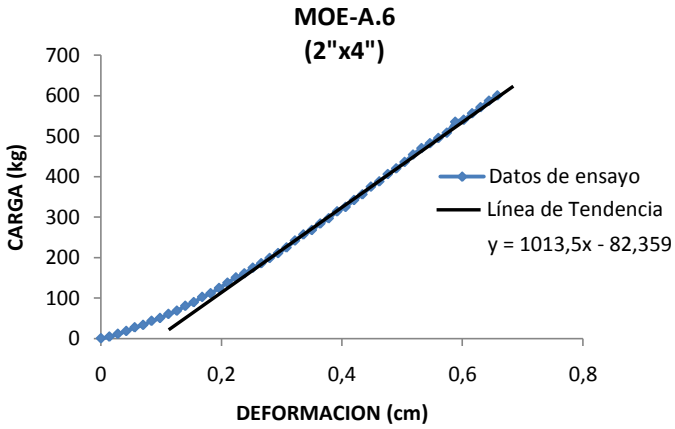
MOE final	37171,47
Qmax	1352,00
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo A.5	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,392	651
0,378	635
0,364	619
0,35	588
0,336	575
0,322	552
0,308	530
0,294	505
0,28	489
0,266	465
0,252	445
0,238	417
0,224	393
0,21	367
0,196	343
0,182	307
0,168	287
0,154	251
0,14	227
0,126	190
0,112	178
0,098	149
0,084	119
0,07	95
0,056	75
0,042	49
0,028	35
0,014	10
0	1



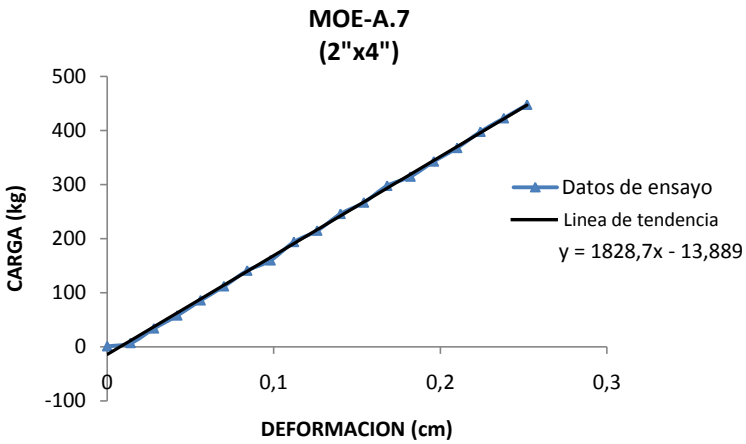
MOE final	29669,47
Qmax	1549,00
Tipo de falla	falla por astillamiento

Datos de ensayo A.6	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,658	600
0,644	587
0,63	571
0,616	556
0,602	540
0,588	535
0,574	508
0,56	495
0,546	482
0,532	470
0,518	454
0,504	436
0,49	420
0,476	406
0,462	388
0,448	375
0,434	356
0,42	342
0,406	325
0,392	314
0,378	297
0,364	284
0,35	268
0,336	257
0,322	242
0,308	225
0,294	211
0,28	199
0,266	186
0,252	175
0,238	161
0,224	151
0,21	138
0,196	125
0,182	112
0,168	103
0,154	90
0,14	81
0,126	69
0,112	61
0,098	51
0,084	44
0,07	34
0,056	28
0,042	19
0,028	12
0,014	5
0	1



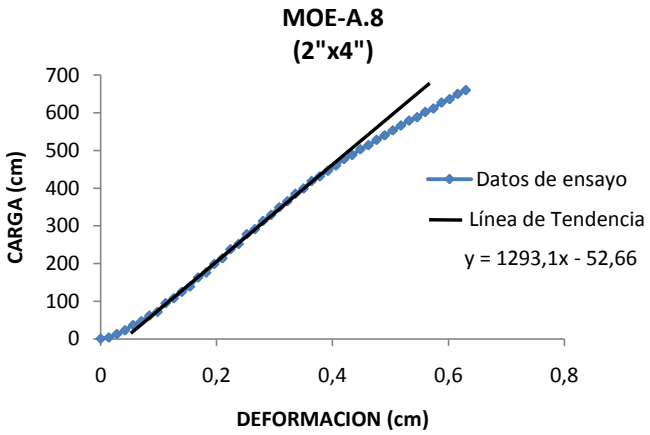
MOE final	11574,75
Qmax	1314,00
Tipo de falla	por desviación de la fibra

Datos de ensayo A.7	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,252	448
0,238	423
0,224	398
0,21	368
0,196	343
0,182	315
0,168	298
0,154	267
0,14	246
0,126	215
0,112	194
0,098	160
0,084	141
0,07	112
0,056	86
0,042	58
0,028	34
0,014	7
0	1



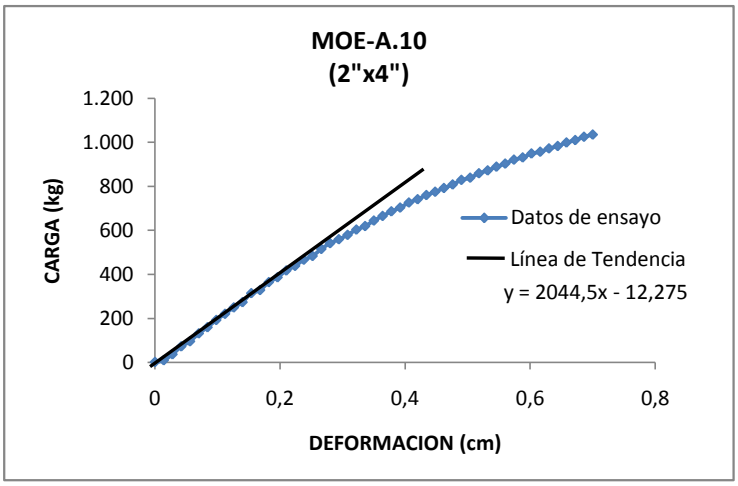
MOE final	29641,87
Qmax	1823,50
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo A.8	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,63	660
0,616	650
0,602	636
0,588	627
0,574	611
0,56	602
0,546	588
0,532	579
0,518	566
0,504	553
0,49	540
0,476	528
0,462	514
0,448	503
0,434	488
0,42	477
0,406	460
0,392	446
0,378	431
0,364	419
0,35	399
0,336	385
0,322	365
0,308	349
0,294	329
0,28	313
0,266	291
0,252	278
0,238	252
0,224	238
0,21	214
0,196	199
0,182	176
0,168	163
0,154	139
0,14	125
0,126	108
0,112	95
0,098	72
0,084	62
0,07	47
0,056	37
0,042	23
0,028	13
0,014	4
0	1



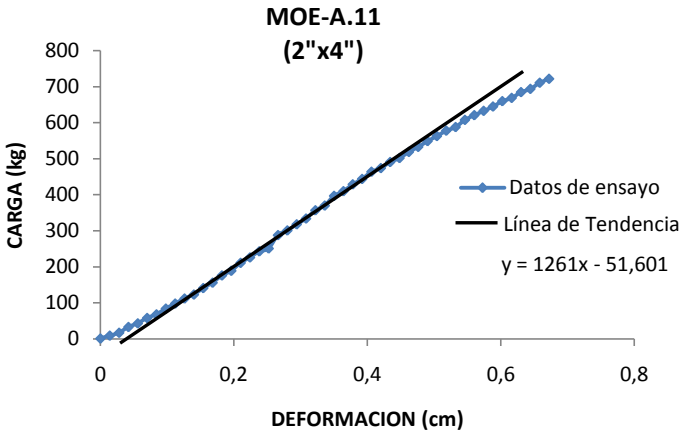
MOE final	16657,59
Qmax	1423,00
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

Datos de ensayo A.10	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,7	1.035
0,686	1.025
0,672	1.010
0,658	999
0,644	983
0,63	972
0,616	957
0,602	949
0,588	931
0,574	921
0,56	903
0,546	889
0,532	872
0,518	859
0,504	839
0,49	829
0,476	808
0,462	792
0,448	775
0,434	760
0,42	741
0,406	726
0,392	703
0,378	686
0,364	665
0,35	644
0,336	619
0,322	603
0,308	579
0,294	559
0,28	541
0,266	515
0,252	483
0,238	466
0,224	438
0,21	417
0,196	386
0,182	364
0,168	328
0,154	314
0,14	273
0,126	249
0,112	220
0,098	192
0,084	159
0,07	131
0,056	95
0,042	72
0,028	36
0,014	9
0	1



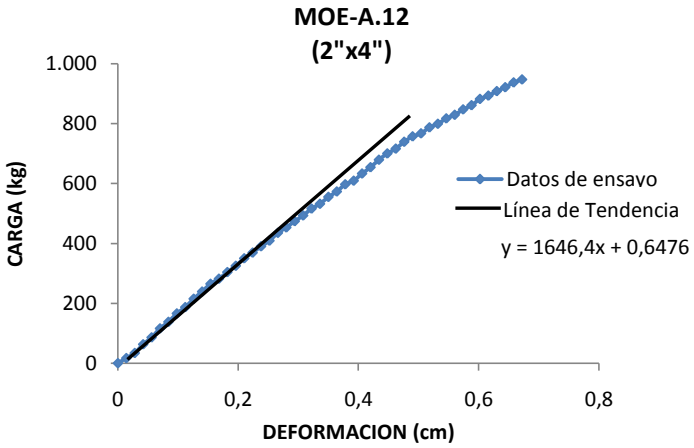
MOE final	33542,75
Qmax	1725,50
Tipo de falla	por tensión simple

Datos de ensayo A.11	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,672	722
0,658	711
0,644	694
0,63	685
0,616	669
0,602	660
0,588	645
0,574	633
0,56	621
0,546	608
0,532	588
0,518	578
0,504	563
0,49	549
0,476	533
0,462	519
0,448	502
0,434	491
0,42	474
0,406	464
0,392	444
0,378	429
0,364	410
0,35	397
0,336	370
0,322	357
0,308	334
0,294	318
0,28	301
0,266	288
0,252	251
0,238	243
0,224	226
0,21	211
0,196	189
0,182	176
0,168	156
0,154	141
0,14	123
0,126	112
0,112	98
0,098	84
0,084	68
0,07	58
0,056	43
0,042	33
0,028	17
0,014	9
0	1



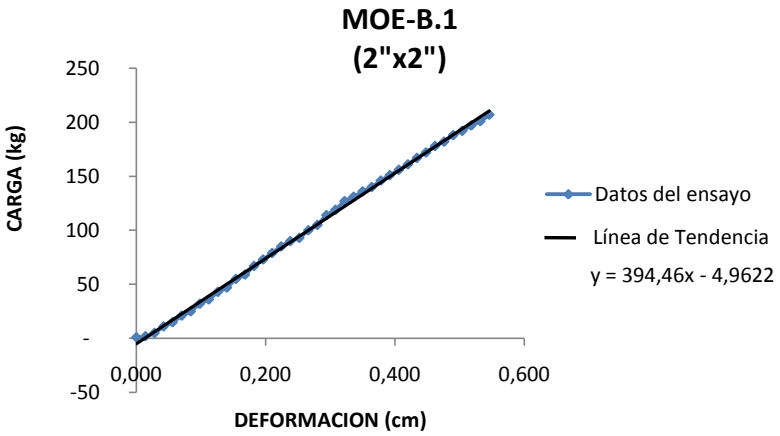
MOE final	15234,78
Qmax	1324,50
Tipo de falla	por astillamiento

Datos de ensayo A.12	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,672	948
0,658	938
0,644	922
0,63	909
0,616	894
0,602	883
0,588	862
0,574	848
0,56	830
0,546	818
0,532	800
0,518	788
0,504	768
0,49	758
0,476	740
0,462	717
0,448	701
0,434	680
0,42	655
0,406	634
0,392	610
0,378	598
0,364	574
0,35	556
0,336	533
0,322	517
0,308	494
0,294	475
0,28	454
0,266	436
0,252	410
0,238	391
0,224	370
0,21	351
0,196	326
0,182	305
0,168	283
0,154	266
0,14	240
0,126	216
0,112	188
0,098	167
0,084	139
0,07	117
0,056	87
0,042	64
0,028	35
0,014	18
0	1

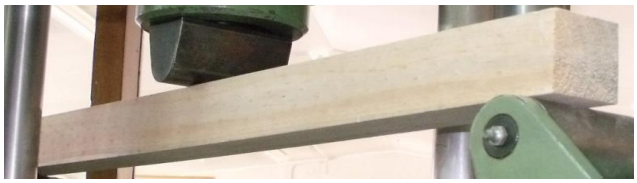


MOE final	28365,31
Qmax	1297,00
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

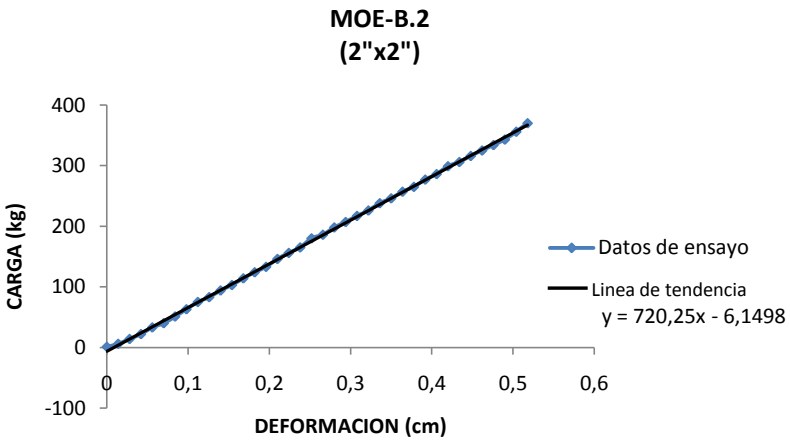
Datos de ensayo B.1	
Deformación (cm)	**Carga (kg)**
0,546	207
0,532	201
0,518	197
0,504	192
0,49	188
0,476	182
0,462	178
0,448	172
0,434	167
0,42	161
0,406	156
0,392	151
0,378	146
0,364	140
0,35	136
0,336	131
0,322	127
0,308	119
0,294	114
0,28	105
0,266	100
0,252	93
0,238	90
0,224	85
0,21	79
0,196	73
0,182	67
0,168	59
0,154	55
0,14	47
0,126	43
0,112	36
0,098	32
0,084	25
0,07	21
0,056	15
0,042	11
0,028	5
0,014	2
0	1



MOE final	51661,45
Qmax	417,00
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

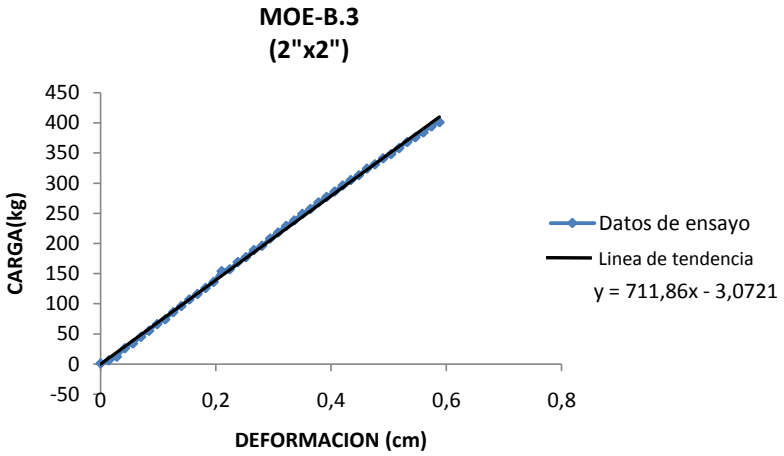


Datos de ensayo B.2	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,518	370
0,504	356
0,49	343
0,476	334
0,462	325
0,448	316
0,434	306
0,42	299
0,406	286
0,392	277
0,378	265
0,364	257
0,35	246
0,336	238
0,322	226
0,308	217
0,294	207
0,28	198
0,266	186
0,252	180
0,238	165
0,224	156
0,21	146
0,196	133
0,182	124
0,168	114
0,154	103
0,14	94
0,126	83
0,112	75
0,098	63
0,084	51
0,07	40
0,056	33
0,042	22
0,028	14
0,014	6
0	1



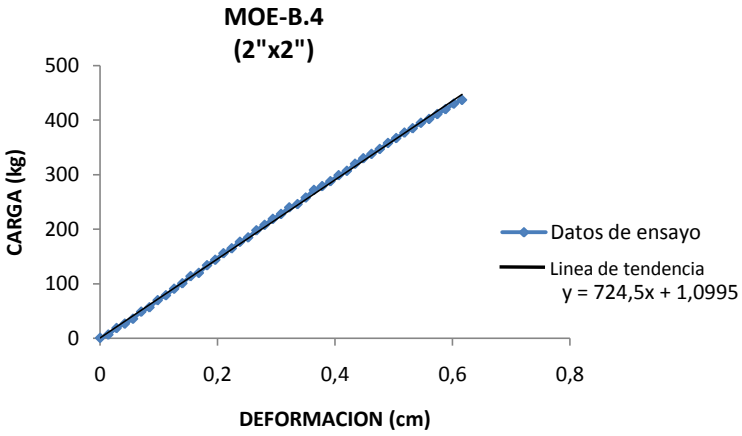
MOE final	93896,47
Qmax	786,00
Tipo de falla	tensión simple

Datos de ensayo	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,588	401
0,574	394
0,56	384
0,546	376
0,532	368
0,518	358
0,504	348
0,49	341
0,476	331
0,462	324
0,448	313
0,434	305
0,42	296
0,406	286
0,392	277
0,378	268
0,364	257
0,35	249
0,336	238
0,322	229
0,308	218
0,294	208
0,28	196
0,266	189
0,252	177
0,238	169
0,224	157
0,21	154
0,196	136
0,182	126
0,168	116
0,154	107
0,14	96
0,126	86
0,112	74
0,098	66
0,084	55
0,07	45
0,056	34
0,042	26
0,028	12
0,014	6
0	1



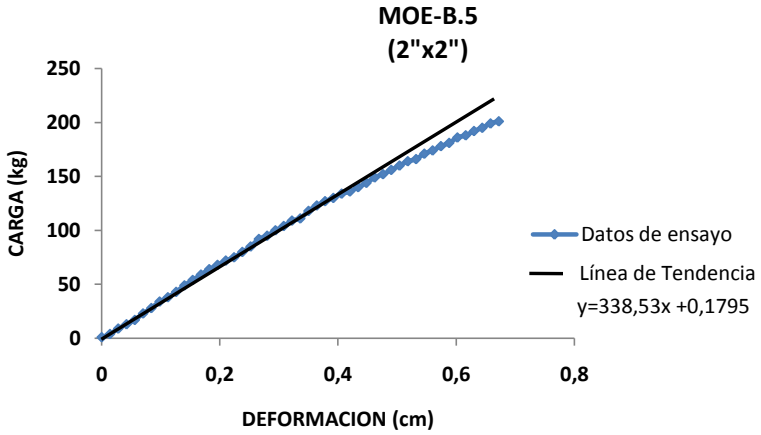
MOE final	92749,84
Qmax	778,50
Tipo de falla	por astillamiento

Datos de ensayo	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,616	437
0,602	430
0,588	420
0,574	411
0,56	402
0,546	395
0,532	385
0,518	377
0,504	367
0,49	358
0,476	347
0,462	338
0,448	330
0,434	320
0,42	307
0,406	299
0,392	288
0,378	279
0,364	272
0,35	258
0,336	246
0,322	240
0,308	228
0,294	219
0,28	208
0,266	198
0,252	185
0,238	177
0,224	165
0,21	156
0,196	144
0,182	134
0,168	120
0,154	114
0,14	101
0,126	91
0,112	79
0,098	70
0,084	57
0,07	49
0,056	36
0,042	27
0,028	19
0,014	7
0	1



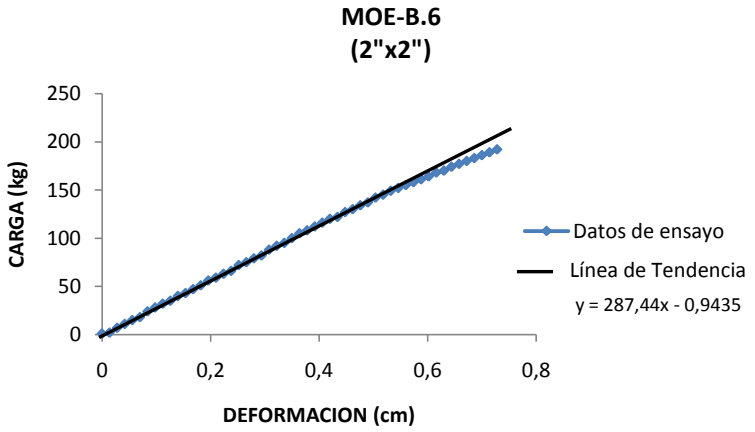
MOE final	99879,16
Qmax	823,50
Tipo de falla	por astillamiento

Datos de ensayo B.5	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,672	201
0,658	199
0,644	195
0,63	192
0,616	188
0,602	186
0,588	181
0,574	178
0,56	174
0,546	171
0,532	166
0,518	164
0,504	160
0,49	156
0,476	152
0,462	149
0,448	144
0,434	140
0,42	136
0,406	134
0,392	130
0,378	127
0,364	123
0,35	118
0,336	111
0,322	109
0,308	104
0,294	100
0,28	95
0,266	92
0,252	85
0,238	80
0,224	75
0,21	72
0,196	68
0,182	64
0,168	59
0,154	54
0,14	49
0,126	43
0,112	38
0,098	34
0,084	28
0,07	23
0,056	17
0,042	13
0,028	9
0,014	4
0	1



MOE final	46596,85
Qmax	211,50
Tipo de falla	por astillamiento

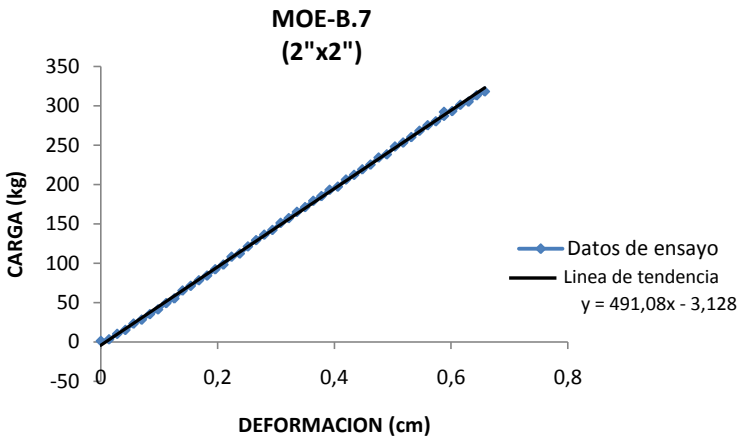
Datos de ensayo B.6	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,728	192
0,714	189
0,7	186
0,686	183
0,672	180
0,658	177
0,644	174
0,63	170
0,616	168
0,602	164
0,588	161
0,574	158
0,56	155
0,546	152
0,532	149
0,518	145
0,504	142
0,49	137
0,476	134
0,462	130
0,448	127
0,434	122
0,42	120
0,406	116
0,392	112
0,378	108
0,364	105
0,35	100
0,336	95
0,322	92
0,308	88
0,294	82
0,28	79
0,266	75
0,252	72
0,238	66
0,224	63
0,21	59
0,196	56
0,182	51
0,168	47
0,154	43
0,14	40
0,126	35
0,112	32
0,098	28
0,084	24
0,07	18
0,056	15
0,042	11
0,028	7



MOE final	38645,72
Qmax	212,50
Tipo de falla	falla abrupta en la fibra

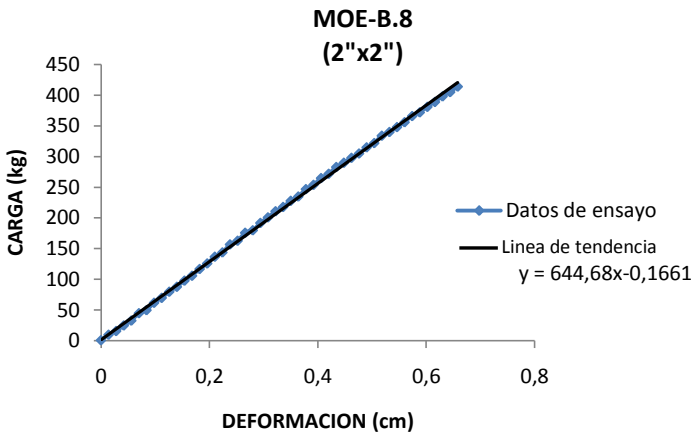
0,014	2
0	1

Datos de ensayo B.7	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,658	318
0,644	313
0,63	305
0,616	301
0,602	293
0,588	292
0,588	287
0,574	280
0,56	275
0,546	268
0,532	260
0,518	253
0,504	248
0,49	238
0,476	234
0,462	225
0,448	219
0,434	212
0,42	206
0,406	197
0,392	193
0,378	185
0,364	179
0,35	171
0,336	165
0,322	157
0,308	151
0,294	142
0,28	136
0,266	129
0,252	121
0,238	112
0,224	108
0,21	98
0,196	92
0,182	84
0,168	78
0,154	71
0,14	65
0,126	55
0,112	49
0,098	41
0,084	35
0,07	28
0,056	23
0,042	15
0,028	10
0,014	3
0	1



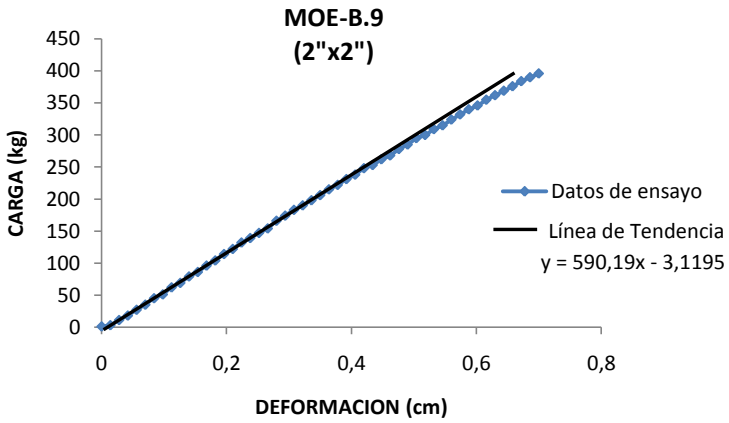
MOE final	65826,47
Qmax	611,00
Tipo de falla	por desviación de la fibra

Datos de ensayo B.8	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,658	414
0,644	405
0,63	398
0,616	389
0,602	381
0,588	372
0,574	366
0,56	356
0,546	348
0,532	340
0,518	334
0,504	322
0,49	315
0,476	305
0,462	298
0,448	290
0,434	283
0,42	272
0,406	265
0,392	254
0,378	247
0,364	235
0,35	228
0,336	218
0,322	211
0,308	201
0,294	192
0,28	180
0,266	176
0,252	163
0,238	157
0,224	144
0,21	137
0,196	126
0,182	117
0,168	106
0,154	98
0,14	88
0,126	80
0,112	70
0,098	62
0,084	50
0,07	45
0,056	33
0,042	25
0,028	16
0,014	10
0	1



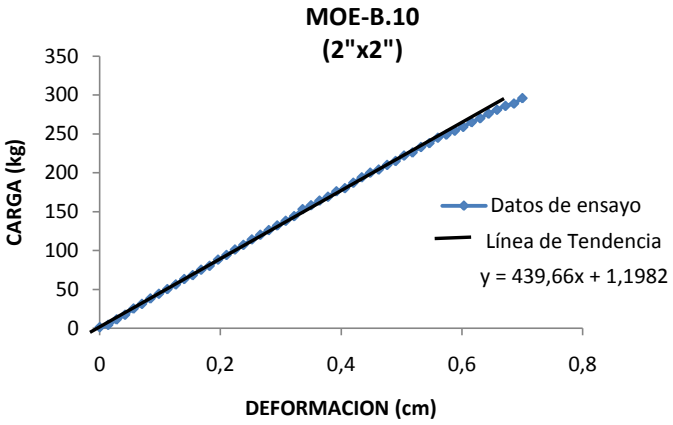
MOE final	88367,86
Qmax	739,00
Tipo de falla	por desviación de la fibra

Datos de ensayo B.9	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,7	396
0,686	390
0,672	384
0,658	376
0,644	369
0,63	362
0,616	355
0,602	346
0,588	340
0,574	332
0,56	324
0,546	315
0,532	309
0,518	300
0,504	295
0,49	285
0,476	278
0,462	268
0,448	262
0,434	253
0,42	248
0,406	238
0,392	231
0,378	222
0,364	215
0,35	206
0,336	198
0,322	190
0,308	183
0,294	174
0,28	166
0,266	154
0,252	147
0,238	139
0,224	132
0,21	122
0,196	114
0,182	104
0,168	96
0,154	86
0,14	79
0,126	69
0,112	62
0,098	51
0,084	45
0,07	35
0,056	27
0,042	18
0,028	11
0,014	3
0	1



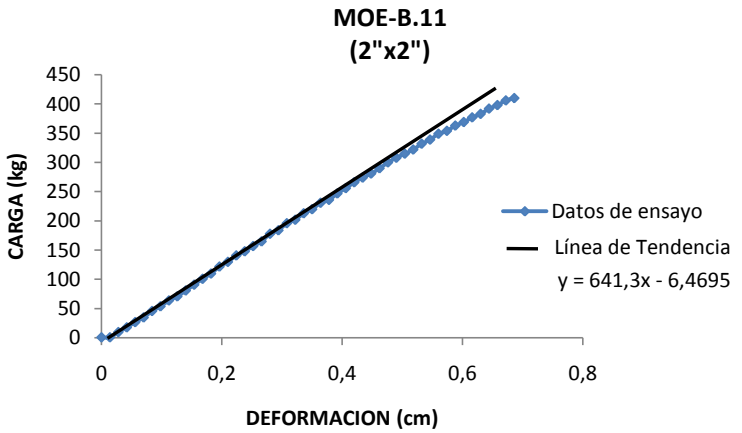
MOE final	108669,23
Qmax	743,00
Tipo de falla	por astillamiento

Datos de ensayo B.10	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,7	296
0,686	289
0,672	286
0,658	281
0,644	276
0,63	270
0,616	265
0,602	259
0,588	254
0,574	249
0,56	245
0,546	238
0,532	233
0,518	226
0,504	222
0,49	215
0,476	210
0,462	204
0,448	200
0,434	194
0,42	187
0,406	180
0,392	176
0,378	169
0,364	164
0,35	158
0,336	153
0,322	144
0,308	138
0,294	132
0,28	126
0,266	120
0,252	114
0,238	107
0,224	101
0,21	94
0,196	88
0,182	80
0,168	75
0,154	68
0,14	63
0,126	56
0,112	50
0,098	44
0,084	38
0,07	31
0,056	25
0,042	17
0,028	11
0,014	4
0	1



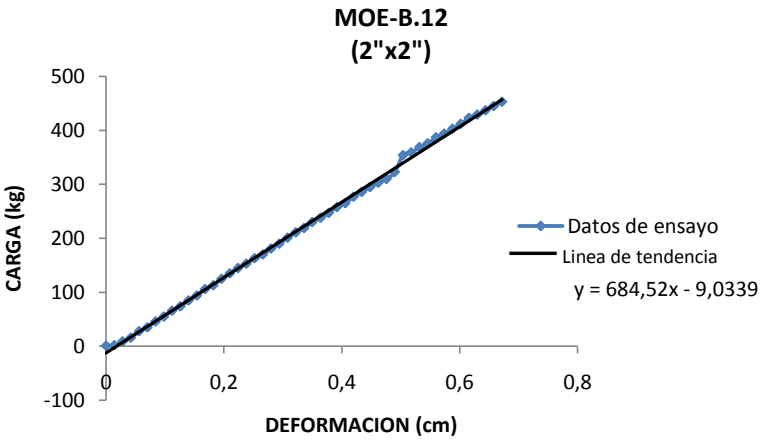
MOE final	60915,03
Qmax	352,00
Tipo de falla	por astillamiento

Datos de ensayo B.11	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,686	410
0,672	406
0,658	398
0,644	392
0,63	383
0,616	377
0,602	369
0,588	363
0,574	354
0,56	349
0,546	339
0,532	332
0,518	322
0,504	315
0,49	308
0,476	300
0,462	290
0,448	281
0,434	274
0,42	266
0,406	256
0,392	247
0,378	236
0,364	231
0,35	220
0,336	213
0,322	202
0,308	196
0,294	184
0,28	178
0,266	165
0,252	157
0,238	148
0,224	141
0,21	130
0,196	122
0,182	110
0,168	101
0,154	91
0,14	81
0,126	71
0,112	64
0,098	54
0,084	46
0,07	35
0,056	27
0,042	18
0,028	10
0,014	1
0	1



MOE final	84781,14
Qmax	611,50
Tipo de falla	por desviación de la fibra

Datos de ensayo B.12	
Deformacion(cm)	**Carga(kg)**
0,672	453
0,658	445
0,644	437
0,63	429
0,616	423
0,602	412
0,588	403
0,574	394
0,56	387
0,546	376
0,532	369
0,518	359
0,504	354
0,49	323
0,476	310
0,462	303
0,448	295
0,434	286
0,42	277
0,406	265
0,392	258
0,378	247
0,364	238
0,35	230
0,336	219
0,322	211
0,308	201
0,294	190
0,28	181
0,266	170
0,252	163
0,238	153
0,224	145
0,21	135
0,196	125
0,182	113
0,168	106
0,154	94
0,14	85
0,126	74
0,112	66
0,098	55
0,084	46
0,07	35
0,056	28
0,042	16
0,028	9
0,014	2
0	1



MOE final	89440,41
Qmax	853,00
Tipo de falla	por tensión simple

ANEXO B

B.1-Determinación del porcentaje de humedad:

Según NCh 176/1 of 1984, se hará el cálculo del contenido de humedad para cada pieza inmediatamente después de ser ensayada, se extraerá de la zona de falla una muestra, la cual será pesada antes de ser introducida a la estufa de secado y después de ser sacada de la estufa. Para obtener el contenido de humedad se aplica la siguiente expresión:

$$\mathbf{H = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times 100}$$

H(%): contenido de humedad.

m_1: masa de la probeta en gramos antes del secado.

m_2: masa de la probeta en gramos después del secado.

Se debe calcular el promedio aritmético de los resultados obtenidos del conjunto de probetas para el ensayo.

B.2.-Determinación de la densidad:

Según NCh 176/2 of 1984, se hará el cálculo de la densidad para cada pieza inmediatamente después del ensayo, al igual que en el contenido de humedad se extrae de las cercanías de la falla una muestra, luego se determina su sección, espesor y se registra su masa. Para hacer el cálculo de densidad se aplica la siguiente expresión:

$$\mathbf{D = \frac{m}{V}; \quad V = b \times e \times L}$$

Con:

D: densidad de la muestra en (kg/cm^3).

m: masa de la muestra en (kg).

V: volumen de la muestra en (cm^3)

b: ancho de la muestra en (cm).

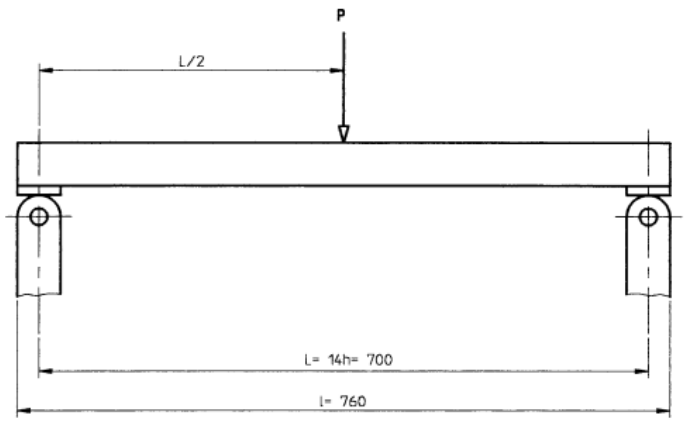
e: espesor de la muestra en (cm).

L: largo de la muestra en (cm).

B.3.-Determinación del módulo de elasticidad:

Según NCh 986 of 1986, se determinará el modulo de elasticidad de una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el centro de la luz, de acuerdo al esquema de la figura A.1:

Figura A.1: Esquema de una viga para ensayo de flexión estática.



Fuente: NCh 986 of 1986.

Para obtener el módulo de elasticidad de esta situación, tenemos la siguiente ecuación:

$$\mathbf{E = \frac{P \times L^3}{4 \times \delta \times b \times h^3}}$$

E: módulo de elasticidad en MPa.

P: carga aplicada en el rango elástico, en N.

L: longitud entre apoyos, en mm.

δ: deformación producida por la carga aplicada, en mm.

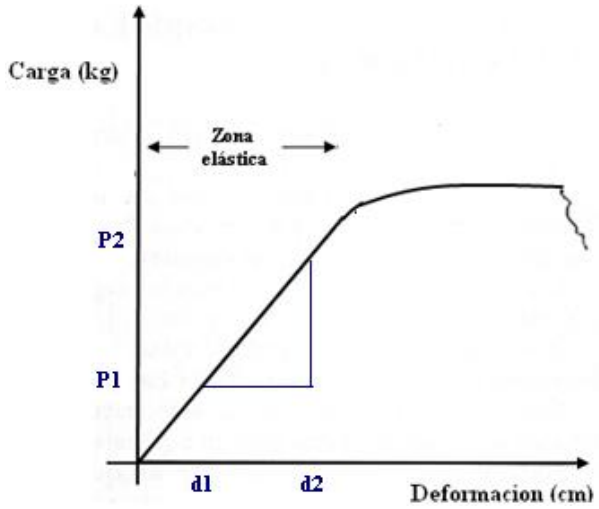
b: ancho de la sección de la viga, en mm.

h: altura de la sección de la viga, en mm.

En el ensayo tanto la deformación como la carga quedan registradas, por lo tanto se aplicó la ecuación de la recta. Para obtener el MOE se deben sacar dos puntos en la recta que define la elasticidad de la pieza, entonces se divide la diferencia de las cargas por la diferencia de las

deformaciones para obtener la pendiente y así poder formar la ecuación de una recta, el resultado de esta es usado en la obtención del MOE.

Figura A.2: Grafica del módulo de elasticidad.



Fuente: NCh 986 of 1986.

$$\mathbf{m} = \frac{(\mathbf{P2} - \mathbf{P1})}{(\mathbf{d2} - \mathbf{d1})}$$

$$\mathbf{P} = (\mathbf{m} \times \mathbf{d}) + \mathbf{b} \; ; \mathrm{b} = \text{intercepto para } \mathrm{d} = 0$$

B.4.-Determinación del módulo de rotura:

Según NCh 987 of 1986, para obtener el módulo de rotura, que finalmente es la tensión máxima que soporta una viga, se determina de la siguiente forma:

$$\mathbf{R_f} = \frac{\mathbf{3} \times \mathbf{Q} \times \mathbf{L}}{\mathbf{2} \times \mathbf{b} \times \mathbf{h^2}}$$

Donde:

R_f: es el módulo de rotura, en MPa.

Q: carga máxima o carga de rotura, en N.

L: longitud entre apoyos, en mm.

B: ancho de la sección de la viga, en mm.

H: altura de la sección de la viga, en mm.

B.5.- Deformación en flexión:

Para una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el centro de su luz, la deformación viene dada por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{\delta = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I}}$$

$$\boldsymbol{I = \frac{b \times h^3}{12}}$$

En nuestro caso tenemos un registro de las deformaciones, por lo que sólo ocuparemos esta ecuación en el cálculo de la estructura para aplicar los métodos ASD y LRFD.

ANEXO C

C.1.- Clasificación estructural de la madera aserrada según UNE:

Usaremos de referencia la clasificación mecánica de la norma UNE EN 338 debido a que la norma chilena NCh 1198 of 2006, solo nos da la opción de dos clases resistentes C16 y C24 para tensiones admisibles. Además nosotros obtuvimos los valores característicos según un análisis estadístico. A continuación se indicarán los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada clase resistente para las especies coníferas y chopo:

Tabla B.1: Madera aserrada, especies de coníferas y chopo y valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente.

Propiedades	**Clases resistentes**											
	C14	**C16**	**C18**	**C20**	**C22**	**C24**	**C27**	**C30**	**C35**	**C40**	**C45**	**C50**
Resistencia (característica), N/mm^2												
Flexión ($f_{m,k}$)	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela ($f_{t,0,k}$)	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracción perpendicular ($f_{t,90,k}$)	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela ($f_{c,0,k}$)	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compresión perpendicular ($f_{c,90,k}$)	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Cortante ($f_{v,k}$)	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Rigidez, kN/mm^2												
Mod. Elasticidad paralelo medio ($E_{0,medio}$)	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16
Mod. Elasticidad paralelo 5º percentil ($E_{0,k}$)	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Mod. Elasticidad perpendicular medio ($E_{90,medio}$)	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Mod. Transversal medio (G_{medio})	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, kg/m^3												
Densidad característica (ρ_k)	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media (ρ_{medio})	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Fuente: UNE EN 338

ANEXO D

D.1.- Datos de las piezas de madera según su origen

Se entregan las características de cada pieza según su origen, son los datos de entrada necesarios para los cálculos posteriores.

La tabla D.1 describe cada pieza según la escuadría, el largo, la luz de ensayo, la masa y la carga máxima o de ruptura de la pieza (Qmax), para Barraca 1:

Tabla D.1 Datos de las piezas de madera de origen Barraca 1

Código piezas	Sección pulg	Altura (h) cm	Ancho (b) cm	Largo cm	Luz ensayo cm	Masa kg	Qmax ton
F.1	2"x4"	10	5	80	70	1,965	1.914,5
F.2	2"x4"	10	5	80	70	1,890	1.775,5
F.3	2"x4"	10	5	80	70	1,995	2.131,0
F.4	2"x4"	10	5	80	70	1,970	2.074,0
F.5	2"x4"	10	5	80	70	2,020	2.169,5
F.6	2"x4"	10	5	80	70	1,930	1.958,0
F.7	2"x4"	10	5	80	70	1,975	2.042,0
F.8	2"x4"	10	5	80	70	1,815	1.630,5
F.9	2"x4"	10	5	80	70	2,095	2.093,5
F.10	2"x4"	10	5	80	70	2,035	1.865,5
F.11	2"x4"	10	5	80	70	1,930	1.820,5
F.12	2"x4"	10	5	80	70	1,945	1.976,0
F.13	2"x2"	5	5	80	70	0,825	389,0
F.14	2"x2"	5	5	80	70	0,945	676,0
F.15	2"x2"	5	5	80	70	0,950	632,5
F.16	2"x2"	5	5	80	70	0,755	385,5
F.17	2"x2"	5	5	80	70	0,920	675,0
F.18	2"x2"	5	5	80	70	0,970	650,0
F.19	2"x2"	5	5	80	70	0,825	550,0
F.20	2"x2"	5	5	80	70	0,965	665,0
F.21	2"x2"	5	5	80	70	0,840	417,0
F.22	2"x2"	5	5	80	70	0,935	618,0
F.23	2"x2"	5	5	80	70	0,970	781,5

La tabla D.2 describe cada pieza según la escuadría, el largo, la luz de ensayo, la masa y la carga máxima o de ruptura de la pieza (Qmax), para Barraca 2:

Tabla D.2 Datos de las piezas de madera de origen Barraca 2

Código pieza	**Sección pulg**	**Altura (h) cm**	**Ancho (b) cm**	**Largo cm**	**Luz ensayo cm**	**Masa gr**	**Qmax ton**
A.1	2"x4"	10	5	75	70	1450	1.152,5
A.2	Eliminada por exceso de nudos						
A.3	2"x4"	10	5	75	70	1412	1.404,0
A.4	2"x4"	10	5	75	70	1516	1.352,0
A.5	2"x4"	10	5	75	70	1435	1.549,0
A.6	2"x4"	10	5	75	70	1453	1.314,0
A.7	2"x4"	10	5	75	70	1744	1.823,5
A.8	2"x4"	10	5	75	70	1365	1.423,0
A.9	Eliminada por exceso de nudos						
A.10	2"x4"	10	5	75	70	1541	1.725,5
A.11	2"x4"	10	5	75	70	1413	1.324,5
A.12	2"x4"	10	5	75	70	1447	1.297,0
B.1	2"x2"	5	5	75	70	611	417,0
B.2	2"x2"	5	5	75	70	905	786,0
B.3	2"x2"	5	5	75	70	956	778,5
B.4	2"x2"	5	5	75	70	944	823,5
B.5	2"x2"	5	5	75	70	668	211,5
B.6	2"x2"	5	5	75	70	706	212,5
B.7	2"x2"	5	5	75	70	1022	611,0
B.8	2"x2"	5	5	75	70	974	739,0
B.9	2"x2"	5	5	75	70	986	743,0
B.10	2"x2"	5	5	75	70	618	352,0
B.11	2"x2"	5	5	75	70	899	611,5
B.12	2"x2"	5	5	75	70	1177	853,0

D.2.- Obtención de la densidad y el porcentaje de humedad

Para obtener la densidad y el porcentaje de humedad de cada pieza se aplicaron las ecuaciones del anexo B. A los resultados de cada escuadría se les aplicó un análisis estadístico para obtener la desviación estándar muestral.

Para cada escuadría y según su origen se construyeron para Barraca 1 las tablas D.3 y D.4, para Barraca 2 las tablas D.5 y D.6. Donde cada tabla contiene la información necesaria para calcular la densidad y el porcentaje de humedad, para lo cual fueron necesarios: sección, el espesor, la masa inicial (antes de secar) y la masa en estado anhidra (después del secado).

Tabla D.3 Determinación de la densidad y porcentaje de humedad de piezas 2”x 2” de Barraca 1.

Código piezas 2"x2"	**Sección (cm^2)**	**espesor (cm)**	**Masa inicial (gr)**	**Masa anhidra (gr)**	**Humedad (%)**	**Densidad (Kg/m^3)**
F.13	20,3	7	61,765	52,960	16,63	435,73
F.14	20,3	7	76,728	66,430	15,50	541,29
F.15	20,3	7	75,293	65,370	15,18	531,17
F.16	20,3	7	59,048	50,910	15,99	416,56
F.17	20,3	7	68,373	59,290	15,32	482,35
F.18	20,3	7	73,159	63,480	15,25	516,11
F.19	20,3	7	64,761	55,680	16,31	456,87
F.20	20,3	7	72,64	62,550	16,13	512,45
F.21	20,3	7	65,587	56,660	15,76	462,69
F.22	20,3	7	64,769	55,380	16,95	456,92
F.23	20,3	7	77,064	67,090	14,87	543,66
Fi promedio			69,02	59,62	15,81	486,89
Fi mediana					12,88	374,96
Fi desv. Est. muestral					0,66	44,29
Fi desv.Est. muestral (%)					4,15	9,10

Tabla D.4 Determinación de la densidad y porcentaje de humedad de piezas 2”x 4” de Barraca 1

Código piezas 2"x4"	Sección (cm^2)	espesor (cm)	Masa inicial (gr)	Masa anhidra (gr)	Humedad (%)	Densidad (Kg/m^3)
F.1	20,3	7	67,304	57,190	17,68	474,81
F.2	20,3	7	67,142	56,960	17,88	473,66
F.3	20,3	7	77,28	65,180	18,56	545,19
F.4	20,3	7	78,263	66,410	17,85	552,12
F.5	20,3	7	80,335	67,640	18,77	566,74
F.6	20,3	7	79,661	66,900	19,07	561,98
F.7	20,3	7	66,793	56,400	18,43	471,20
F.8	20,3	7	65,443	55,140	18,69	461,68
F.9	20,3	7	73,342	61,510	19,24	517,40
F.10	20,3	7	73,568	62,100	18,47	519,00
F.11	20,3	7	63,326	53,750	17,82	446,74
F.12	20,3	7	72,903	61,880	17,81	514,31
Fi promedio			72,11	60,92	18,36	508,74
Fi mediana					18,47	517,40
Fi desv. Est. muestral					0,54	42,07
Fi desv.Est. muestral (%)					2,92	8,27

Tabla D.5 Determinación de la densidad y porcentaje de humedad de piezas 2”x 2” de Barraca 2

Código piezas 2"x2"	Sección (cm^2)	espesor (cm)	Masa inicial	Masa anhidra	Humedad (%)	Densidad (Kg/m^3)
B.1	25,0	1,25	10,207	9,164	11,38	326,62
B.2	25,0	1,25	14,768	13,215	11,75	472,58
B.3	25,0	1,25	16,238	14,499	11,99	519,62
B.4	25,0	1,25	15,702	14,072	11,58	502,46
B.5	25,0	1,25	10,529	9,412	11,87	336,93
B.6	25,0	1,25	12,215	10,968	11,37	390,88
B.7	25,0	1,25	15,736	13,945	12,84	503,55
B.8	25,0	1,25	15,998	14,301	11,87	511,94
B.9	25,0	1,25	16,482	14,693	12,18	527,42
B.10	25,0	1,25	10,05	9,006	11,59	321,60
B.11	25,0	1,25	14,542	13,070	11,26	465,34
B.12	25,0	1,25	19,905	17,098	16,42	636,96
Bi promedio			14,3643	12,79	12,18	459,66
Bi mediana					11,75	472,58
Bi desv. Est. muestral					1,40	96,70
Bi desv.Est. muestral (%)					11,52	21,04

Tabla D.6 Determinación de la densidad y porcentaje de humedad de piezas 2”x 4” de Barraca 2

Código piezas 2"x4"	Sección (cm^2)	espesor (cm)	Masa inicial (gr)	Masa anhidra (gr)	Humedad (%)	Densidad (Kg/m^3)
A.1	49,0	1,25	22,966	20,519	11,93	374,96
A.3	49,0	1,25	23,107	20,642	11,94	377,26
A.4	49,5	1,25	26,059	23,264	12,01	421,16
A.5	49,5	1,25	22,708	20,289	11,92	367,00
A.6	49,5	1,25	23,067	20,348	13,36	372,80
A.7	49,5	1,25	26,336	23,021	14,40	425,63
A.8	49,5	1,25	22,305	19,678	13,35	360,48
A.10	49,5	1,25	26,992	23,912	12,88	436,23
A.11	49,5	1,25	22,624	19,883	13,79	365,64
A.12	49,5	1,25	23,046	20,522	12,30	372,46
Ai promedio			23,921	21,21	12,79	387,36
Ai mediana					12,88	374,96
Ai desv. Est. muestral					0,90	28,47
Ai desv. Est. muestral (%)					7,04	7,35

D.3.- Obtención del módulo de elasticidad y la tensión máxima

El MOE y la tensión máxima de cada pieza según su origen se obtuvo de acuerdo al Anexo B, la clasificación estructural de las piezas se hizo según el Anexo C. A los resultados de cada escuadría se le aplicó un análisis estadístico, de lo cual obtendremos la desviación estándar muestral y el valor característico para tensión máxima en flexión.

Para cada escuadría y según su origen se construyeron para Barraca 1 las tablas D.7 y D.8 y para Barraca 2 las tablas D.9 y D.10. Para obtener el modulo de elasticidad (MOE) y la tensión máxima en flexión (Rf) fueron necesarios los datos de carga máxima (Qmax) y la sección de cada pieza. La clasificación estructural mecánica se hizo de acuerdo al MOE de cada pieza para luego posicionarla en alguna clase estructural según la normativa UNE 338 que se encuentra en el anexo C.

Tabla D.7 MOE y tensión máxima para 2”x2” proveniente de Barraca 1

Código piezas 2"x2"	L (cm)	B (cm)	H (cm)	MOE (kg/cm²)	Qmáx (kg)	Rf (kg/cm²)	UNE 338
F.13	70	5	5	67304,60	389,0	326,76	--
F.14	70	5	5	88171,18	676,0	567,84	C16
F.15	70	5	5	93478,36	632,5	531,3	C18
F.16	70	5	5	52974,78	385,5	323,82	--
F.17	70	5	5	85672,25	675,0	567	C16
F.18	70	5	5	88006,85	650,0	546	C16
F.19	70	5	5	69602,73	550,0	462	--
F.20	70	5	5	96532,61	665,0	558,6	C20
F.21	70	5	5	64741,19	417,0	350,28	--
F.22	70	5	5	96442,45	618,0	519,12	C20
F.23	70	5	5	111233,04	781,5	656,46	C24
Fi promedio				83105,46	585,409	491,744	**C16**
Fi mediana				88006,85	632,5	531,3	**C16**
Fi desv. Est. muestral				17292,46	132,901	111,637	
Fi desv. Est. muestral (%)				20,81	22,702	22,702	
F. característica fmk (Ec. 2.1)						**308,101**	

Tabla D.8 MOE y tensión máxima para 2”x 4” proveniente de Barraca 1

Código piezas 2"x4"	L (cm)	B (cm)	H (cm)	MOE (kg/cm²)	Qmáx (kg)	Rf (Kg/cm²)	UNE 338
F.1	70	5	10	34944,75	1914,5	402,045	--
F.2	70	5	10	32421,02	1775,5	372,855	--
F.3	70	5	10	36131,59	2131,0	447,51	--
F.4	70	5	10	37067,39	2074,0	435,54	--
F.5	70	5	10	38009,70	2169,5	455,595	--
F.6	70	5	10	34361,88	1958,0	411,18	--
F.7	70	5	10	34900,79	2042,0	428,82	--
F.8	70	5	10	31482,80	1630,0	342,3	--
F.10	70	5	10	35164,73	1865,0	391,65	--
F.11	70	5	10	33471,99	1820,5	382,305	--
F.12	70	5	10	31418,49	1976,0	414,96	--
Fi promedio				34488,65	1941,455	407,705	--
Fi mediana				34900,79	1958	411,2	--
Fi desv. Est. muestral				2153,32	162,118	34,045	--
Fi desv. Est. muestral (%)				6,24	8,350	8,350	--
F. característica fmk (Ec. 2.1)						**351,702**	

Tabla D.9 MOE y tensión máxima para 2”x 2” proveniente de Barraca 2

Pieza 2"x2"	L (cm)	B (cm)	H (cm)	MOE (kg/cm²)	Qmáx (kg)	Rf (Kg/cm²)	UNE 338
B.1	70	5	5	51.661,45	417,0	350,28	--
B.2	70	5	5	93.896,47	786,0	660,24	C18
B.3	70	5	5	92.749,84	778,5	653,94	C18
B.4	70	5	5	99.879,16	823,5	691,74	C20
B.5	70	5	5	46.596,85	211,5	177,66	--
B.6	70	5	5	38.645,72	212,5	178,5	--
B.7	70	5	5	65.826,47	611,0	513,24	--
B.8	70	5	5	88.367,86	739,0	620,76	C16
B.9	70	5	5	108.669,23	743,0	624,12	C22
B.10	70	5	5	60.915,03	352,0	295,68	--
B.11	70	5	5	84.781,14	611,5	513,66	C16
B.12	70	5	5	89.440,41	853,0	716,52	C16
Fi promedio				76.785,80	594,9	499,695	--
Fi mediana				34.900,79	1958	513,66	--
Fi desv. Est. muestral				23.011,76	236,683	198,814	
Fi desv. Est. muestral (%)				29,97	39,787	39,787	
F. característica fmk (Ec. 2.1)						**172,646**	

Tabla D.10 MOE y tensión máxima para 2”x 4” proveniente de Barraca 2

Pieza 2"x4"	L (cm)	B (cm)	H (cm)	MOE (kg/cm²)	Qmáx (kg)	Rf (Kg/cm²)	UNE 338
A.1	70	5	10	24.545,57	1.152,5	242,025	--
A.3	70	5	10	25.912,99	1.404,0	294,84	--
A.4	70	5	10	37.171,47	1.352,0	283,92	--
A.5	70	5	10	29.669,47	1.549,0	325,29	--
A.6	70	5	10	11.574,75	1.314,0	275,94	--
A.7	70	5	10	29.641,87	1.823,5	382,935	--
A.8	70	5	10	16.657,59	1.423,0	298,83	--
A.10	70	5	10	33.542,75	1.725,5	362,355	--
A.11	70	5	10	15.234,78	1.324,5	278,145	--
A.12	70	5	10	28.365,31	1.297,0	272,37	--
Fi promedio				25.231,66	1436,5	301,665	--
Fi mediana				34.900,79	1958	283,92	--
Fi desv. Est. muestral				8.309,94	206,018	43,264	--
Fi desv. Est. muestral (%)				32,93	14,342	14,342	--
F. característica fmk (Ec. 2.1)						**230,496**	--