



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Caracterización Mecánica de Viga Cajón

Profesor Patrocinante: Sr. Héctor Cuevas D.

Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero en Maderas**.

VICTOR HUGO VERA RIVEROS

VALDIVIA

2006

CALIFICACION DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Profesor Guía:	Sr. Héctor Cuevas D.	_____
Informante:	Sr. Hernán Poblete W.	_____
Informante:	Sr. Silvana Mariani A.	_____

El Profesor Guía acredita que la presente tesis de grado cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Héctor Cuevas D.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le doy gracias a Dios por su apoyo incondicional, por el descanso y nuevas fuerzas para rendir durante todo este periodo, donde en muchas ocasiones me sentí cansado.

Agradezco a mi familia, a mis padres por su esforzado ejemplo de vida, por su paciencia y su constante apoyo en todo lo que me he propuesto hacer; a mis abuelitos por su cariño y consejos, y en forma especial a mi hermana Anita por sus conocimientos y apoyo en todo cuanto a podido.

A mi tío Hugo por su orientación y consejo al momento de iniciar mis estudios y por su directa ayuda en la realización de este trabajo.

También quiero agradecer a mi profesor patrocinante y profesores informantes, por la ayuda recibida para la realización de este trabajo.

Agradezco también a mis compañeros con los cuales entablamos una linda amistad, en donde compartimos importante momentos durante nuestra formación tanto dentro como fuera de la Universidad.

A todos ellos muchas gracias.

*A mis queridos padres, hermanos y
en forma especial a Rocío.*

INDICE DE MATERIAS

	Pagina
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	2
2.1 Definición Viga Cajón	2
2.2 Viga Cajón con recubrimiento de contrachapado	2
2.2.1 Descripción cordón superior-inferior	2
2.2.2 Descripción de laterales	2
2.2.3 Descripción de montantes	3
2.2.4 Características geométricas de las vigas	3
2.3 Factores importantes a considerar en las vigas cajón	3
2.3.1 Peso	4
2.3.2 Arquitectura	4
2.3.3 Materiales de recubrimientos laterales	4
2.3.4 Elementos de fijación de recubrimientos laterales	4
2.4 Propiedades Mecánicas	4
2.4.1 Flexión estática	5
2.5 Factores que afectan las propiedades mecánicas	6
2.5.1 Defectos	6
2.5.2 Densidad	7
2.5.3 Contenido de Humedad	7
2.5.4 Albura y Duramen	7
2.5.5 Tratamiento de la madera	7
2.6 Contrachapado	8
2.7 Clavos	9
3. MATERIAL Y METODO	10
3.1 Materiales	10
3.1.1 Madera	10
3.1.2 Tablero Contrachapado	10
3.1.3 Clavos	10
3.2 Método	10
3.2.1 Construcción de la viga cajón	10
3.2.2 Tamaño de la muestra	11
3.2.3 Luz de ensayo y ubicación de puntos de carga	11
3.2.4 Determinación del peso de la viga	12
3.2.5 Determinación de la carga admisible del clavo	13
3.2.6 Determinación de la distribución de los clavos	14
3.2.7 Dimensión y tolerancia de los clavos	14
3.3 Descripción de equipo de ensayo	15
3.4 Ejecución del ensayo	17
3.5 Cálculos	17

3.6	Tratamiento de resultados	19
4.	RESULTADOS y DISCUSION	20
4.1	Flexión estática	20
4.1.1	Módulo de elasticidad	20
4.1.2	Módulo de Rotura	21
4.2	Determinación de fallas	23
5.	CONCLUSIONES	29
6.	BIBLIOGRAFIA	31
	ANEXOS	
1	Abstract	
2	Cuadros y grafico de carga vs deformación	
3	Cuadros de fallas	

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo nace del interés de dar a conocer un producto que no ha sido desarrollado en forma masiva en nuestro país, a fin de efectuar un aporte a la industria de la construcción.

El método de trabajo se basó en el análisis de dos tipos de vigas, las cuales se diferencian geométricamente entre si, solo por el espesor del contrachapado. En estas vigas la unión del tablero con la madera es realizada por clavos, los cuales generan estructuras más económicas, versátiles, resistentes y elásticas; capaces de soportar cargas estáticas y dinámicas y perfectamente factibles de usar en estructuras definitivas.

Con el objetivo de evaluar las propiedades mecánicas de las vigas cajón en solicitaciones de flexión estática de corto plazo, se trabajó en el banco de pruebas del laboratorio de ensayo de materiales y Control de Obras (Lemco), ubicado en el campus Miraflores de la Universidad Austral de Chile.

Mediante el ensayo de flexión, se obtuvo valores de carga y deformación, tomando lecturas de estos datos cada 10 segundos. Con esta información se midió el módulo de elasticidad y se determinó el módulo de rotura.

Posterior a cada uno de los ensayos se observó detalladamente el tipo de fractura que determinaba la falla de la viga y se elaboró un cuadro resumen que identifica las fallas en cuatro tipos.

Finalmente, como resultado se determinó que al modificar el contrachapado en su sección transversal, considerando el aumento de 5,2 mm a 9 mm, existe una variación de un 19,36%, la cual genera un aumento en la carga máxima de un 55,97%. Con los resultados entregados, se concluye que si se quiere obtener niveles de carga máximas mayores se debe aumentar el espesor del contrachapado. Respecto al MOE se concluyó que la diferencia de espesor en el tablero contrachapado genera un aumento de un 11,7%. Se deben tener en cuenta otros factores de diseño como: el costo del aumento de espesor del material, el aumento del peso propio de los elementos, las consideraciones de rigidez y la estabilidad de la aplicación.

Palabras Clave: *Viga cajón, contrachapado, propiedades mecánicas, ensayo de flexión, clavos.*

1. INTRODUCCION

Desde tiempos muy remotos, la madera ha sido uno de los principales materiales de construcción. Es uno de los más versátiles y de los más importantes junto con el acero y el hormigón.

Actualmente se están utilizando procedimientos de diseño más rigurosos por parte de los ingenieros, de esta forma se asegura un diseño de viga en particular que sea estructuralmente segura, rígida y económica.

Debido a que la demanda de madera estructural esta creciendo constantemente, nacen las vigas cajón, las cuales con nuevos métodos de diseño permiten mayores rangos de seguridad y economía en términos del volumen total de madera utilizada y mejor maniobra en la construcción. Esto se debe a que es un material más liviano y con menores costos de transporte.

Las vigas cajón están conformadas por un cordón superior y otro inferior de madera y por dos recubrimientos laterales de contrachapado, las uniones entre estos elementos son realizadas con el uso de clavos o adhesivos. En este estudio se realizó la unión de los cordones con el contrachapado utilizando clavos.

El presente trabajo tiene como objetivo probar este producto como un aporte al conocimiento de sus propiedades mecánicas en sollicitaciones de flexión estática de corto plazo. Esto resultará de gran interés en la industria de la construcción, debido a que es un producto estructural más barato que su equivalente en madera sólida y además permite un mejor aprovechamiento de la madera en situaciones de esfuerzo a flexión.

Basado en el objetivo general se establecen los siguientes objetivos específicos a cumplir:

- Medir el módulo de elasticidad. (MOE)
- Determinar el módulo de rotura. (MOR)
- Especificar en forma precisa los tipos de fracturas que presentan éstas estructuras al fallar.
- Determinar influencia en el uso de diferentes espesores de los contrachapados.

2. MARCO TEORICO

Las vigas de cajón son altamente utilizadas en países como Australia por ejemplo, debido a que ingenieros y arquitectos se han visto enfrentados a una creciente demanda estructural que los ha llevado a diseñar estructuras de madera basados en principios de ingeniería en busca de mejores rangos de seguridad y una mayor economía en términos de volumen de madera utilizada, lo que permite un mejor uso de los recursos naturales.

En Chile las vigas cajón no han sido desarrolladas en forma industrial, debido a que no se han realizado estudios o análisis que permitan un conocimiento detallado de esta estructura.

2.1 Definición Vigas Cajón

Son: “Vigas formadas por un cordón superior y otro inferior de madera aserrada con uniones dentadas o madera laminada, con revestimientos laterales a ambos lados de madera aserrada en diagonal o también con OSB o contrachapado fenólico. En su interior y en los extremos se ubican montantes verticales de madera que colaboran a resistir los esfuerzos de corte y a rigidizar las tapas laterales a distancias modulares”. CORMA (2000).

2.2 Vigas cajón con recubrimiento de contrachapado

Estos elementos estructurales están compuestos de un cordón superior e inferior de madera de pino insigne y un recubrimiento de placa de contrachapado de anchos variables. Poblete y Hempel (1980).

2.2.1 Descripción cordón superior-inferior

Los cordones ya sea inferior o superior están conformados por piezas de madera de pino insigne impregnado unidas entre si por adhesivo utilizando el sistema de finger joint, además en la elaboración de estas piezas se utilizan como cordón superior e inferior piezas laminadas.

2.2.2 Descripción de laterales

Los laterales de estas vigas están conformados por tableros de contrachapados los cuales por sus cualidades proporcionan durabilidad, seguridad y facilidad no sólo de aplicación, sino también almacenamiento y manipulación. Pueden también ser utilizados como elemento estructural lateral los tableros de OSB.

2.2.3 Descripción de montantes

Estas piezas de madera son utilizadas, con el fin de entregar a los laterales, una mayor área de contacto para efectos de la unión, ya sea con clavos o adhesivos, además colaboran a resistir los esfuerzos de corte y a rigidizar los laterales a distancias modulares. CORMA (2000).

2.2.4 Características geométricas de las vigas cajón

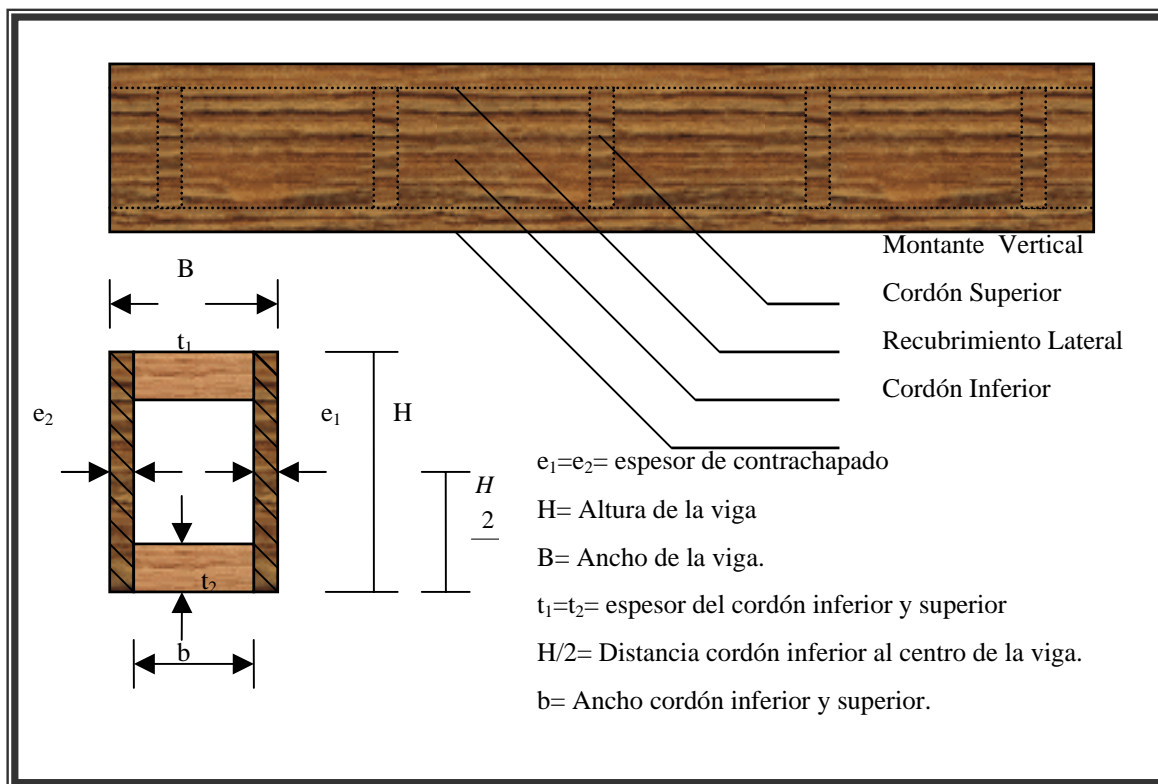


Figura 1. Caracterización geométrica de la viga cajón.

2.3 Factores importantes a considerar en las vigas cajón

A la hora de la construcción de una viga cajón, es importante considerar factores que entregan una gran gama de posibilidades en la fabricación, cada uno de los cuales entregará un comportamiento estructural distinto al momento de la realización de los ensayos mecánicos. NAFI (1989a).

2.3.1 *Peso*

El peso es un punto importante a considerar, debido a que tiene una relación inversa con la economía y facilidad de transporte. Además al momento de erigir las vigas (al ser piezas más livianas, debido a que no son piezas sólidas) su manipulación puede ser desarrollada de mejor forma. También hay que señalar que reduce al mínimo los requisitos complejos de las fundaciones. NAFI (1989a).

2.3.2 *Arquitectura*

Pueden ser fabricadas en una variedad de formas, entre las cuales se encuentran viga recta (viga que forma parte del estudio), viga a un agua, viga a dos aguas y viga en tijeral; con el uso de cordones de madera laminada, también es posible constituir vigas de cajón curvas. NAFI (1989a).

2.3.3 *Materiales de recubrimientos laterales*

El contrachapado es el elemento más utilizado como recubrimiento lateral, debido a su alta resistencia y a su estética cuando se utiliza una chapa decorativa. Otros materiales utilizados son placas de OSB, tableros de partículas y cuando existe una fabricación más artesanal de las vigas estas son forradas lateralmente por un entablado en diagonal. NAFI (1989a).

2.3.4 *Elementos de fijación de recubrimientos laterales*

Las placas laterales se pueden fijar a los montantes por medio de adhesivos, clavos o pernos en vigas laminadas que cubran grandes luces. En un proceso más industrializado, la forma más usual es el sistema de unión con adhesivo, que requiere de prensas adecuadas. En reemplazo de las prensas, es posible asegurar este tipo de unión, con un clavado distanciado aproximadamente cada 10 centímetros, que no cumple una función estructural, sino que tiene por finalidad asegurar la fijación de las tapas laterales a los cordones durante el proceso de fabricación. NAFI (1989a).

2.4 Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas indican la capacidad que poseen los materiales para resistir fuerzas externas. De acuerdo a esta capacidad serán los usos a los cuales los materiales son destinados y las secciones transversales necesarias para asegurar una adecuada estabilidad estructural en las construcciones.

Conforme a la amplia gama de solicitaciones a los cuales puede estar expuesto un material durante su uso, se han definido diversas propiedades mecánicas. CORMA (2003a).

2.4.1 Flexión Estática

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a cargas aplicadas en el centro de la luz o distancia entre apoyos. La forma de trabajo es la que se indica en la figura 2.

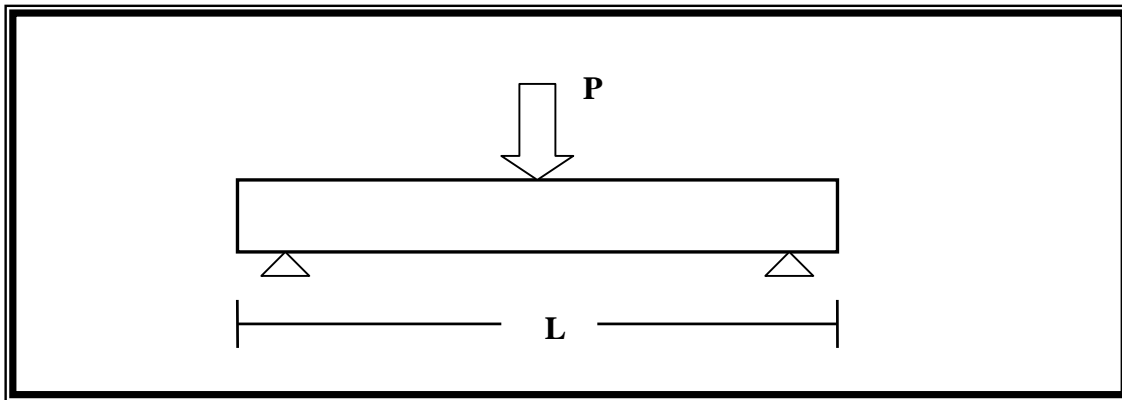


Figura 2. Carga puntual en el centro de la viga (P).

Módulo de Rotura (MOR): Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material, antes que se produzca la falla. Cualquier incremento adicional de carga sobre el material provocará la ruptura de éste. CORMA (2003a). El MOR es función del Momento máximo (M_{max}) y el módulo resistente o rigidez (W).

Momento de Inercia (I): El momento de inercia es una propiedad geométrica de una superficie o área que representa la distancia de un área con respecto a un eje dado. Se define como la suma de los productos de todas las áreas elementales multiplicadas por el cuadrado de las distancias a un eje. Tiene unidades de longitud elevada a la cuarta ($longitud^4$). Es importante para el análisis de vigas y columnas, porque el diseño del tamaño de estos elementos está relacionado con el momento de inercia, ya que el momento de inercia I define la forma apropiada que debe la sección del elemento estructural. Beer y Johnston (1977).

Módulo de Elasticidad (MOE): Es la medida de la rigidez del material experimentada por una viga sometida a flexión. Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solamente a condiciones de trabajo de la zona dentro de la zona elástica de la curva versus deformación, en la figura 3 se puede apreciar la grafica de carga- deformación. CORMA (2003a).

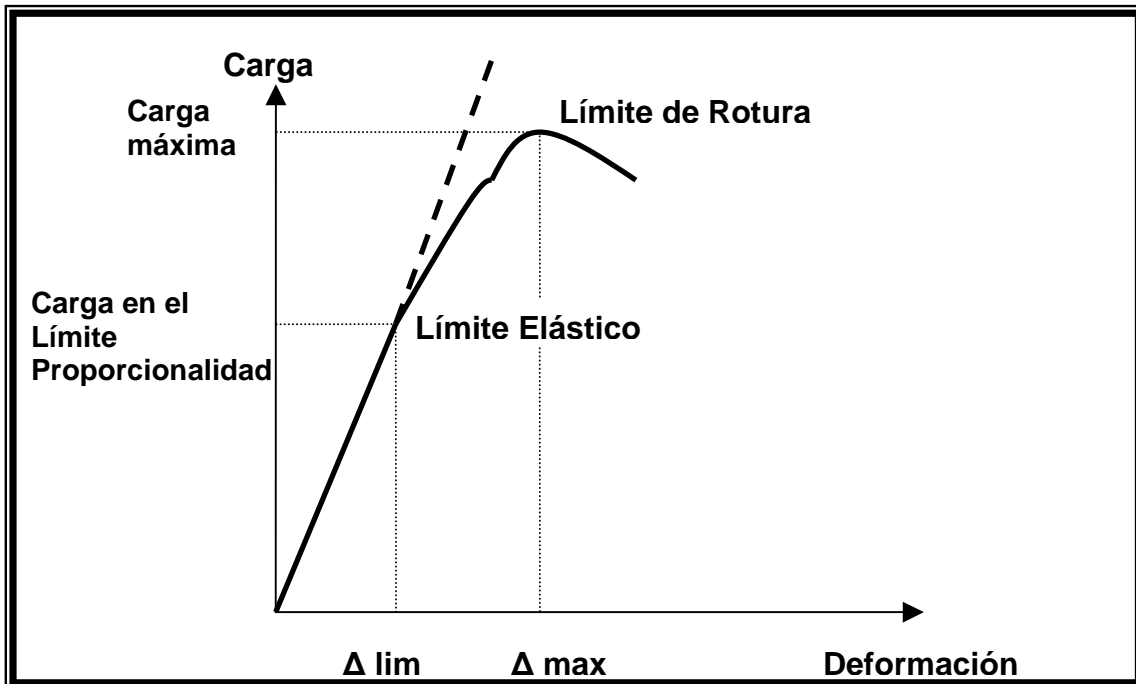


Figura 3: Grafico carga – deformación.

2.5 Factores que afectan las propiedades mecánicas

La madera en su naturaleza, posee una estructura compleja que sirve a las necesidades funcionales de una planta en vida. Las diferencias existentes entre árboles de una misma especie responden a diferencias genéticas o de ambiente, ya sea por diferencias en altura y diámetro o variaciones en un mismo árbol causadas por su crecimiento irregular. La madera al ser un material heterogéneo, genera variaciones en las propiedades mecánicas.

También existen diferencias en las propiedades mecánicas, debido al tratamiento de la madera durante su elaboración.

Los factores que inciden sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas son:

2.5.1 Defectos

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico – química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente, una limitación en su uso o aplicación. Los defectos que mayormente inciden sobre las propiedades mecánicas de la madera son: Nudos, grietas, rajaduras, granos o fibra desviada, pudrición, perforación y colapso.

Otros defectos que inciden en la resistencia, pero, en menor grado, son: Bolsillo de corteza o resina, acebolladuras, alabeos, médula y canto muerto. Es por esta razón que cuando se realizan ensayos de propiedades mecánicas a probetas estas deben estar libres de defectos. CORMA (2003b).

2.5.2 Densidad

Además de los ensayos de resistencia, la densidad o peso específico de una pieza de madera, es el criterio más satisfactorio para determinar su resistencia.

La pared celular está compuesta principalmente por celulosa, encontrándose además holocelulosa y lignina. La primera causa de la variación de la densidad es la diferencia de composición existente entre especies, dentro de una misma especie. Una nueva causa de variabilidad es el espesor de las paredes celulares y el tamaño de las porosidades. La densidad de la madera varía aún dentro del mismo árbol CORMA (2003b).

2.5.3 Contenido de humedad

Cuando la madera pierde agua bajo el Punto de Saturación de la Fibra, cada célula se compacta cada vez más, debido a ello las fibras se ponen más rígidas y fuertes, resultando de lo anterior que una pérdida del contenido de humedad de la madera va acompañada de un incremento de la resistencia.

Por sobre el Punto de Saturación de las Fibras, un aumento del contenido de humedad no tiene efectos sobre la resistencia. CORMA (2003b).

2.5.4 Albura y Duramen

En la primera etapa de vida del árbol, toda su sección transversal es albura, su función principal es de soporte, además por sus tejidos se conduce la savia desde el suelo hasta las hojas. A medida que el árbol crece, parte de la albura se transforma en duramen. La función del duramen es sólo de soporte mecánico.

Numerosas experiencias han demostrado que, en general no existe diferencia significativa entre las propiedades mecánicas de madera de albura y duramen, sin embargo, existen algunas excepciones a esta regla, las cuales dependen fundamentalmente de la densidad de ambas zonas y de los defectos que prevalecen en ellas. CORMA (2003b).

2.5.5 Tratamiento de la Madera

La impregnación de maderas consiste en la saturación de las fibras con un producto o mezcla de sustancias químicas, de efectividad comprobada, con el objeto de protegerla contra organismos destructores y prolongar su vida útil. Rogel (1979).

Es importante señalar el proceso de impregnación, debido a que por normativa chilena de construcción, el pino insigne debe ser impregnado.

Numerosas investigaciones afirman, que los efectos de los tratamientos de la madera sobre la resistencia de ella, se deben principalmente al método de aplicación del preservante y no a las sales de impregnación usadas. El debilitamiento que se

origina en la resistencia se debe a las altas temperaturas y presiones inherentes a algunos procesos de tratamientos, a fin de obtener una satisfactoria impregnación. Esto es particularmente crítico cuando se usan prolongados periodos de alta temperatura, con grandes presiones, en maderas refractarias o difíciles de impregnar. Sin embargo, es posible usar temperaturas y periodos de aplicación moderada, usando técnicas complementarias al proceso de impregnación. CORMA (2003b).

2.6 Contrachapados

Los tableros contrachapados estructurales se fabrican con láminas de madera obtenidas por sistemas de debobinado. Se conforman en capas impares y perpendiculares al sentido de sus fibras y se unen entre sí con adhesivos. Esta tecnología de lámina, entrecruzadas y unidas con adhesivo, permite lograr un tablero de gran estabilidad, resistencia mecánica y buen comportamiento ante la humedad. Se utilizan normalmente en elementos constructivos verticales, horizontales e inclinados, como componente arriostrante de la estructura soportante en obras de edificación. Se emplean además en recubrimiento de muros estructurales, cierres perimetrales de obras y embalajes

Las chapas de madera son relativamente estables a lo largo del grano y por consiguiente la construcción de laminado cruzado de contrachapado asegura que el tamaño de la hoja permanece relativamente estable bajo los cambios de temperatura y humedad. Este factor es importante en plataformas de suelo y en la construcción de moldaje para concreto dónde la exposición a la humedad es inevitable. NAFI (1989b).

El contrachapado se clava fácilmente cerca de los bordes y esto tiene un incremento importante cuando se usa un acompañamiento con piezas de madera relativamente delgadas. El contrachapado puede trabajarse usando el mismo equipo y métodos como madera. Su habilidad de aceptar los broches cerca del borde le permite ser utilizado muy eficazmente para asegurar, tejidos y escudetes en la construcción de marco de portal. NAFI (1989b).

El contrachapado (siendo un material basado en la madera) tiene la habilidad de acomodar la carga excesiva ocasional a corto plazo, a dos veces el diseño de carga. Esta propiedad puede usarse con ventaja en carga de puentes o construcciones sujetas a actividades sísmicas o vientos ciclónicos.

Esta estructura laminada distribuye la carga del impacto a través de su área en la cara opuesta - reduciendo efectivamente la tensión y el estrés. NAFI (1989b).

Los tableros contrachapados eliminan o reducen los efectos de debilitamiento que se tiene en la madera aserrada, éstos pueden ser causados por nudos, desviación de la fibra u otros defectos. Además posibilita la utilización de especies de rápido crecimiento y de ciertas especies blandas y marginadas.

Estos tableros se pueden fabricar en dimensiones mayores que las obtenidas en piezas de madera aserrada, con ello es posible cubrir con facilidad grandes superficies y con un elemento estructural más estable. Chan (2004).

2.7 Clavos:

Un elemento mecánico de unión es aquel que, al quedar sometido por fuerzas de cizalle, admite corrimientos relativos entre piezas conectadas y cuyas magnitudes dependen de la fuerza solicitante. Estos corrimientos se originan como consecuencia de las deformaciones por aplastamiento de la madera en la zona de contacto con el elemento de unión. CORMA (2003c).

Hay que señalar que las estructuras clavadas son económicas, versátiles, resistentes y elásticas; capaces de soportar cargas estáticas y dinámicas y perfectamente factibles de usar en estructuras definitivas.

El clavo es un elemento sencillo, capaz de transmitir de una pieza de madera a otra los esfuerzos que sean generados por fuerzas exteriores que actúen sobre ellos. Su simpleza y facilidad de aplicación lo convierten en un elemento práctico y económico y por lo tanto, de uso generalizado. Cuevas (1982).

Debido a su pequeña sección transversal, la transmisión de los esfuerzos se concentra en su punto de ubicación y tiende a producir rajadura en la madera en el lugar donde actúa, esto hace necesario ubicar varios elementos que actúen en conjunto, repartiendo así los esfuerzos en un área, de tal forma que las tensiones provocadas por cada unidad estén bajo los valores de rotura de la madera; no obstante, la cantidad de clavos a usar en una unión no puede ser ilimitado, ya que la cercanía entre ellos traería consigo también el rajamiento de la madera. Cuevas (1982).

3. MATERIAL Y METODO

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

Para la fabricación de cada uno de los cordones, ya sea inferior o superior, y los montantes, se utilizó madera de Pino insigne impregnado, con un contenido de humedad de 18 %, madera limpia (sin uniones finger joint), con una sección de 48 * 73 mm.

3.1.2 Tablero contrachapado

Para la realización de este estudio, se utilizó como recubrimiento lateral tableros contrachapados de pino insigne de 5,2 y 9 mm, unidos con resinas de Fenol Formaldehído capaces de resistir las condiciones más severas de exposición a la intemperie sin sufrir deterioro.

3.1.3 Clavos

Como elemento de unión para los laterales con los cordones superior e inferior se utilizaron clavos corrientes sin perforación guía determinando su distribución, diámetro, largo y cantidad, de acuerdo a las indicaciones de la Norma Chilena 1198 referente a cálculo en construcciones en madera.

3.2 Método

3.2.1 Construcción de la viga cajón

Según el manual de construcción en madera de Corma, para la fabricación de las vigas se consideró que la altura de ésta debía variar entre 1/10 a 1/12 de la luz y que la altura de cada uno de los cordones sea de aproximadamente 1/7 de la altura total de la viga.

Para el estudio que se llevó a cabo, se utilizó 1/11 del largo de la viga (3,20 m) como altura máxima de esta, debido a que se utilizó como cordón superior e inferior una pieza de 2"x 3", es decir 48 mm x 73 mm (Dimensión normalizada por la NCh. 2824).

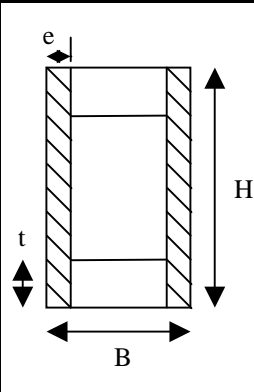
En el interior de las vigas se incluyeron los montantes, que fueron unidos a los cordones por medio de clavos de iguales características que los utilizados en la union del contrachapado con la madera (2,0 mm de diámetro para las vigas VC 5,2 y de 3,1 mm en las vigas VC 9), la distribución de éstos es proporcional y esta relacionada como punto mas importante en las zonas de unión entre

contrachapados, ya que por fabricación de estos tableros (2,44m de largo) es necesario que exista este elemento, con el fin de tener la posibilidad de lograr luces mas grandes. Además es importante mencionar que colaboran a resistir los esfuerzos de corte y rigidizar las tapas laterales a distancias modulares.

Los laterales se obtuvieron al cortar a lo largo los tableros de contrachapados, los cuales tenían un largo de 2,44 m y se dimensionaron a la medida de la altura máxima de la viga (290 mm). Estas piezas se unieron a los cordones superior e inferior por medio de clavos (2,0 mm de diámetro en el caso de las vigas VC 5,2 y de 3,1 mm en las vigas VC 9), que fueron distribuidos, seleccionados, tanto por diámetro como por largo, y se determinó la cantidad de ellos, basándose en la norma NCh 1198 con respecto al clavo como elemento de unión estructural.

Para los efectos de este estudio, se consideraron las dimensiones de las vigas que se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Dimensiones de las vigas.



Tipos	B (mm)	H (mm)	e (mm)	t (mm)	L (mm)	Momento Inercia (cm ⁴)
VC 5,2	85,4	290	5,2	50	3.200	12.509
VC 9	93	290	9	50	3.200	14.053

3.2.2 Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra utilizado en este estudio se determinó en base a experiencias de trabajos realizados en Australia por ingenieros locales, lo que resultó en la recomendación del ensayo de 7 vigas para cada una de las dimensiones presentadas en el cuadro 1.

3.2.3 Luz de ensayo y ubicación de puntos de carga.

Para los efectos del ensayo al que se sometieron cada una de las vigas, fue necesario determinar la luz de ensayo y definir los puntos, donde se aplicaron las cargas

Luz de ensayo

La longitud de las vigas corresponde a 3,20 metros, para efectos del ensayo de flexión se determinó como luz de ensayo para cada una de las vigas $L_e=300$ cm.

Ubicación de puntos de carga.

Para los efectos del ensayo, la carga central se distribuyó en dos cargas, para lo cual fue necesario determinar el tercio central de la viga, con el fin de identificar los dos puntos donde se aplica la carga. En la figura 5 se detalla la distribución de las cargas con relación a la luz de la viga.

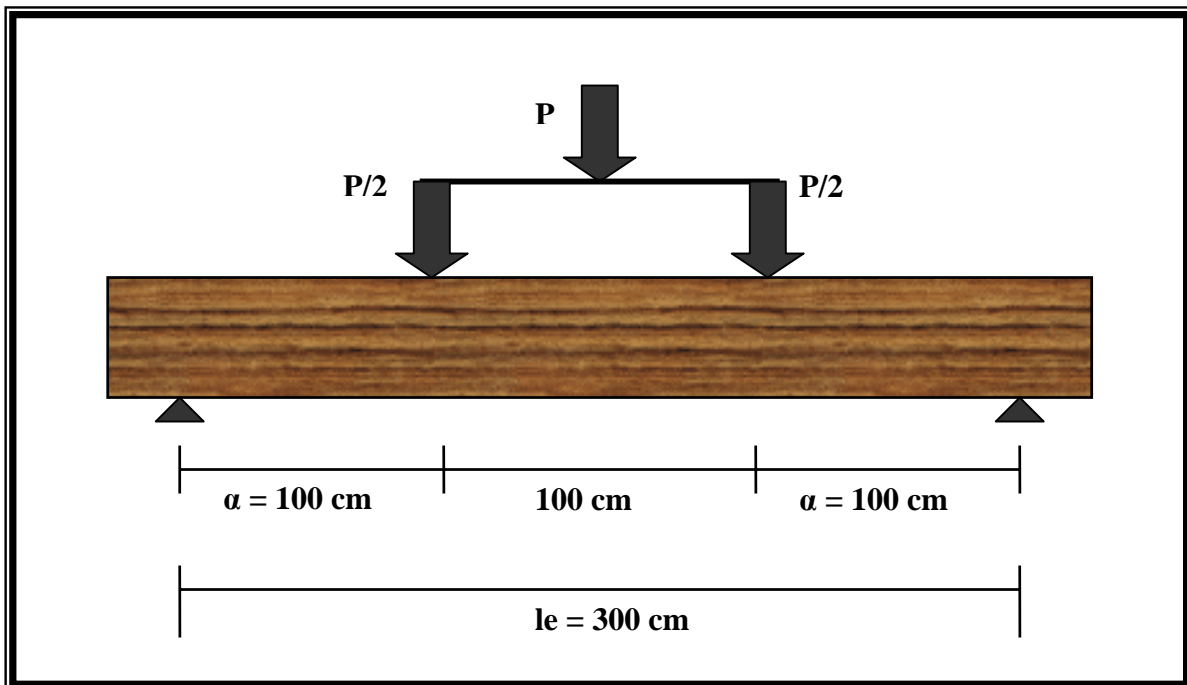


Figura 5. Luz de ensayo y ubicación de puntos de carga.

3.2.4 Determinación del peso de la viga

Para la determinación del peso de la viga (Q_p) se utilizó una balanza. Fue importante obtener el peso propio de la viga, debido a que este valor permitió determinar la incidencia que tiene el peso de la viga, con respecto a la aplicación de sobrecarga progresiva.

3.2.5 Determinación de la carga admisible del clavo

La capacidad de carga admisible del clavo, $P_{cl,ad}$, se obtuvo según 10.9.2.2 de la norma NCh 1198, calculada según a través de la ecuación (1).

$$P_{cl,ad} = 3,5 \times dc^{1,5} \times \rho_{0,k}^{0,5} \quad (1)$$

Donde:

dc : Diámetro del clavo, en mm.

$\rho_{0,k}$: Densidad anhidra, en kg/m^3 .

Esta densidad, según el anexo E, tabla E1 de la NCh 1198, para el caso del pino es de 370 kg/m^3 .

Según la misma norma, la expresión establecida para, $P_{cl,ad}$, es aplicable cuando la penetración efectiva de clavado, p , satisface la condición:

$$p \geq 12 dc, \text{ en mm.}$$

Penetraciones efectivas menores a $6 dc$, no se aceptan en uniones estructurales de cizalle simple.

Cuando la penetración efectiva, p , es tal que:

$$6 dc \leq p < 12 dc.$$

La capacidad admisible de carga $P_{cl,ad}$, de la superficie de cizalle adyacente a la punta del clavo debe ser afectada por el factor de modificación K_{pcs} calculado a través de la ecuación (2).

$$K_{pcs} = \frac{P}{12dc} \quad (2)$$

Uniones clavadas para tableros.

Según la NCh 1198, en el punto 10.9.2.2, la capacidad admisible de una superficie de cizalle de un clavo solicitado normal a la dirección de su eje, $P_{cl,ad}$, se calcula independiente del ángulo que forma la dirección de la carga con la fibra de la madera.

La capacidad de carga admisible, $P_{cl,ad}$, del clavo con diámetro, dc , calculada según 10.9.2.2 de la NCh 1198 rige también para:

- Uniones de cizalle simple y múltiple de tableros contrachapados fenólicos de un mínimo de 4 chapas, siempre que el espesor mínimo de estas e_{min} , cumpla con lo siguiente:

$e_{min} = 3 dc$, para $dc \leq 4,2$ mm

$e_{min} = 4 dc$, para $dc > 4,2$ mm

- Uniones de cizalle simple conformadas con tableros de partículas con espesores mínimos que sean iguales a $4,5 dc$.

En uniones de cizalle simple de tableros de partículas y para clavos con espesores menores que $4,2$ mm, se permite un e_{min} de hasta $3 dc$ debiendo reducirse la carga admisible del clavo en la razón $e_{min} = 4,5 dc$.

La cabeza de los clavos no se debe embutir en más de 2 mm con respecto a la superficie del tablero. Preferentemente se recomienda una hincas a ras con dicha superficie.

Ante una disposición de este tipo de los espesores mínimos de los tableros se deben incrementar en 2 mm.

3.2.6 *Determinación de la distribución de los clavos*

Según la norma NCh 1198, en las uniones de tableros derivados de la madera, clavados a estructuras de madera, se deben adoptar los espaciamientos mínimos siguientes:

Entre clavos colocados en los tableros: $5 dc$, salvo que los espaciamientos entre clavos en la madera resulten condicionantes;

- Al borde cargado: $4 dc$

- Al borde descargado: $2,5 dc$

3.2.7 *Dimensión y tolerancia de los clavos utilizados*

Las especificaciones y dimensiones que se indican continuación son para uniones clavadas en construcciones de madera y rigen para el empleo de los tipos de clavos fabricados según NCh. 1269.

Cuadro 2. Dimensión y tolerancia de los clavos

DESIGNACION mm*mm	LARGO L _c mm	DIAMETRO D _c mm*mm	CANTIDAD DE CLAVOS POR KILOGRAMO
150 * 5,6	150	5,6	24
125 * 5,1	125	5,1	37
100 * 4,3	100	4,3	66
90 * 3,9	90	3,9	103
75 * 3,5	75	3,5	145
65 * 3,1	65	3,1	222
50 * 2,8	50	2,8	362
50 * 2,2	50	2,2	405
45 * 2,2	45	2,2	559
40 * 2,2	40	2,2	647
30 * 2,0	30	2,0	1195
25 * 1,7	25	1,7	2042
20 * 1,5	20	1,5	3362
15 * 1,3	15	1,3	6026

La tolerancia del largo (Lc), del clavo es $\pm dc$. La tolerancia para el diámetro, dc del clavo es:

- $\pm 0,1$ mm para diámetros dc > 3 mm
- $\pm 0,05$ mm para diámetros dc < 3 mm en que:

dc = diámetro del clavo, en mm.

Como se muestra en el cuadro 2, para el caso de la viga VC 5,2 se utilizó un clavo corriente de 2,0 mm de diámetro y 30 mm de largo (clavo de 1 ¼ pulgada). En las vigas VC 9 se utilizó un clavo corriente de 3,1 mm de diámetro y 65 mm de largo (2 ½ pulgada).

3.3 Descripción de equipo de ensayo.

Los ensayos de flexión fueron realizados a cada una de las vigas con el fin de cumplir los objetivos propuestos, en el Laboratorio de Ensayes de Materiales y Control de Obras (Lemco), ubicado en el campus Miraflores de la Universidad Austral de Chile.

El ensayo se realizó en un marco de carga, que consta de celdas de cargas hidráulicas de doble efecto. Esto permite efectuar solicitaciones a vigas de hasta 6 metros de luz y entregar entre 11 y 12 toneladas de carga puntual (como en el caso del estudio que se realizó para el caso de estas vigas cajón).

Los materiales y equipos que se utilizaron en los ensayos, acompañados con una breve descripción de cada uno de ellos fueron:

- Celda de carga, con una capacidad máxima de 50 Toneladas. (Fig. 4 a.)
- Viga metálica de carga, con peso propio de 36 kg (Fig. 4 b.)
- Rodillo de transmisión de carga a la viga en estudio, situados en los puntos definidos como el tercio central de las vigas, con peso total de ambas piezas de 1,2 kg. (Fig. 4 c.)
- Apoyo metálico para las vigas. (Fig. 4 d.)
- Medidor electrónico de carga, funciona a través de un sensor de carga conectado al pistón, el cual entrega la medida de las cargas en kgf. (Fig. 4 e.)
- Compresor con palanca de doble efecto. (Fig. 4 f.)
- Regla metálica para medir deformaciones, la lectura se toma de forma visual en el centro de la viga. (no fue posible el uso de dial, debido a que los existentes no superan la pulgada en su escala de medición) (Fig. 4 g.)

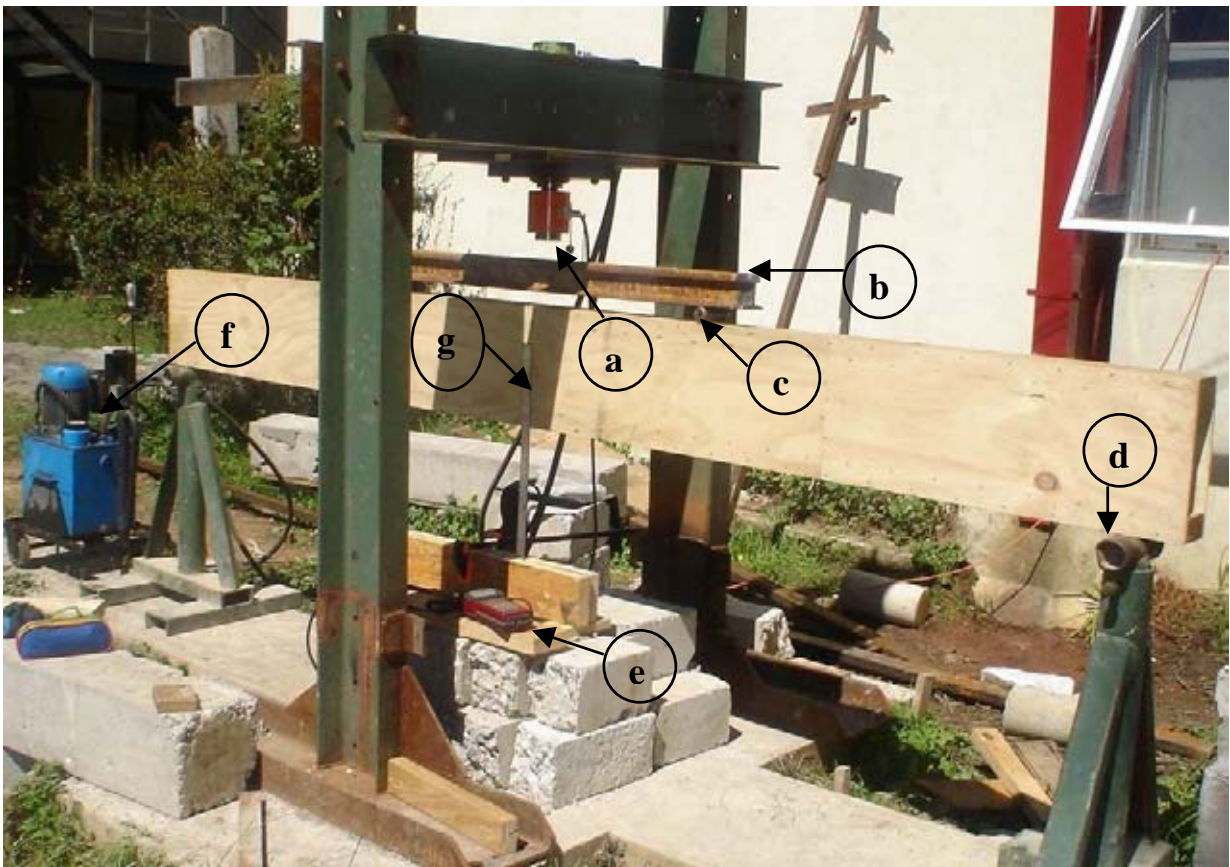


Figura 4. Marco de Carga. a.-Pistón Hidráulico, b.-Pieza metálica de carga, c.-Rodillo de transmisión de carga, d.-Apoyo Metálico, e.-Medidor electrónico de carga, f.-Compresor, g.-Regla metálica.

3.4 Ejecución del ensayo

- Se montan las vigas sobre los apoyos, respetando la luz de ensayo determinada para una correcta distribución de la carga. Posteriormente se determina el punto de referencia destinado a realizar las lecturas de deformación, este punto se ubica al centro de la luz de ensayo (L_e).
- Se verifica que las vigas se encuentren bien posicionadas, para evitar que estas sufran volcamiento; además por medio de un nivel de burbuja se verifica la horizontalidad de esta.
- Se ubican los elementos de distribución de carga, los cuales son posicionados en las líneas previamente trazadas, ya que estas definen el tercio central.
- Se acciona la palanca del compresor con un nivel 6 en la aplicación de la carga, realizando cada 10 segundos lecturas de carga y deformación.
- El ensayo finaliza con la última lectura de carga, cuyo valor corresponde al experimentado por la viga, cuando esta falla y los valores de carga comienzan a disminuir.
- Al momento de producirse la rotura, se determina el o los elementos de la viga que presentan falla, y posterior a ello se analizan los motivos que ocasionaron la rotura.

3.5 Cálculos

Con los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, ya sea cargas (kg) y deformación (cm), se utilizan como parámetros (como ya se ha señalado) los módulos de elasticidad (MOE) y de rotura (MOR). Luego se procede a revisar cada una de las vigas, para determinar en forma precisa los tipos de fracturas que presentaron al fallar estas estructuras.

Modulo de elasticidad:

$$MOE = \frac{P * a}{48 * f * I} (3le^2 - 4a^2) \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \quad (3)$$

- P : Carga aplicada en el rango elástico (kg).
α : Distancia desde el apoyo al rodillo de apoyo (cm).
f : Deformación asociada a la carga (cm).
l_e : Luz de ensayo de la viga (cm).
I : Momento de Inercia (cm⁴).

Donde el momento de Inercia se calcula con la ecuación 4:

$$I = \frac{(B * H^3) - (b * h^3)}{12} [cm^4] \quad (4)$$

B : Ancho total de la viga (cm).
H : Altura total de la viga (cm).
b : Ancho del cordón (cm).
h : Altura espacio libre interior (cm).

Modulo de rotura:

$$MOR = \frac{M_{max}}{W} \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \quad (5)$$

M_{max} : Momento máximo (kg x cm)
W : Módulo resistente de la viga (cm³)

Para la obtención de M_{max} y W se utilizan las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$M_{max} = \frac{P \times le}{6} + \frac{Q_p \times le}{8} [kg \times cm] \quad (6)$$

Q_p : Peso propio de la viga expresado en kg/ml.

$$W = \frac{I}{Y_{max}} [cm^3] \quad (7)$$

$$Y_{max} = \frac{H}{2} [cm] \quad (8)$$

Y_{max} : Distancia desde cordón al centro de la viga (cm)

3.6 Tratamiento de resultados

Con los valores obtenidos del ensayo de flexión se confeccionó una tabla de datos que contiene los valores de carga y deformación, los cuales se encuentran detallados en el anexo 2, incluido el gráfico de carga v/s deformación para cada una de las vigas ensayadas.

Por otro lado se determinó para cada viga el MOE (Módulo de elasticidad) y se determina el MOR (Módulo de rotura), para luego obtener la media, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos para cada caso.

Para la identificación de las fallas se elaboró el cuadro 4, en el cual se clasifican en 4 tipos (Tipo I, II, III y IV), dentro de este cuadro además se indica que tipo de falla presentan cada una de las vigas ensayadas.

4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1 Flexión Estática

4.1.1 Módulo de Elasticidad (MOE)

Los valores de MOE para cada tipo de viga (VC 5,2 y VC 9) y los estadígrafos básicos se presentan en el cuadro 3 y cuadro 4 respectivamente. Además se señalan los valores de carga y deformación, que fueron obtenidos utilizando el gráfico de cada viga que se encuentra disponible en el anexo 2. En cada uno de los gráficos se trazó una línea recta uniendo al menos dos puntos (de la relación de carga y deformación) dentro del rango elástico; de esta forma se permite la determinación de los diferenciales de carga y deformación, cuyos valores son los utilizados para calcular el MOE.

Cuadro 3. Módulo de elasticidad de las vigas VC 5,2

Identificación del Ensayo	Δ de carga en el rango elástico (kg)	Δ deformación en el rango elástico (mm)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
Viga 1	450,09	0,6	28738,25
Viga 2	250,05	0,3	31931,39
Viga 3	383,41	0,5	29376,87
Viga 4	550,11	0,7	30106,73
Viga 5	450,09	0,6	28738,25
Viga 6	433,42	0,6	27673,87
Viga 7	446,76	0,6	28525,63
Promedio	423,42	0,56	29298,71
Desviación Estándar	91,08	0,13	1381,79
Coefficiente de Variación	21,51%	22,84%	4,72%
Valor Máximo	550,11	0,7	31931,39
Valor Mínimo	250,05	0,3	27673,87

Cuadro 4. Módulo de elasticidad de las vigas VC 9

Identificación del Ensayo	Δ de carga en el rango elástico (kg)	Δ deformación en el rango elástico (mm)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
Viga 1	550,11	0,6	31255,42
Viga 2	683,47	0,7	33284,99
Viga 3	500,1	0,5	34096,82
Viga 4	816,83	0,8	34807,17
Viga 5	500,1	0,5	34096,82
Viga 6	900,18	1	30687,14
Viga 7	633,46	0,7	30849,50
Promedio	655	0,69	32725,41
Desviación Estándar	156	0,18	1743,70
Coeficiente de Variación	24%	25,85%	5,33%
Valor Máximo	900,18	1	34807,17
Valor Mínimo	500,1	0,5	30687,14

Los valores promedios obtenidos de Módulo de elasticidad para ambas vigas, muestran que en el caso de las vigas VC 5,2 son menores en un 11,7 % en comparación con la viga VC 9. Con lo cual demuestra que el aumento del espesor del contrachapado acompañado de un diámetro mayor de clavos, permite generar un aumento de la capacidad de carga de las vigas cajón. Sin embargo, la desviación estándar obtenida en ambas muestras señala que en el caso de las vigas VC 5,2 corresponde a una muestra más homogénea que la obtenida en las vigas VC 9. Esta diferencia se puede deber al margen de error que existe al efectuar una lectura de carga y deformación en el caso de este ensayo, ya que para medir el módulo de elasticidad, como lo muestra la ec. 3, las variables restantes son sólo geométricas y están claramente definidas.

4.1.2 Módulo de Rotura (MOR)

Los resultados del MOR para las vigas VC 5,2 y VC 9 se presentan en los cuadros 5 y 6 respectivamente, incluyendo además la carga y deformación máxima lograda por cada uno de los elementos ensayados. Para determinar el MOR de cada una de las vigas es necesario conocer el peso propio de las vigas (Q_p), cuyos valores fueron de 27,57 kg para el caso de las vigas VC 5,2 y de 32,62 kg, para las vigas VC 9. Esta carga es importante debido a que la viga debe soportar su propio peso (carga permanente) y además las sobrecargas de uso.

Cuadro 5. Módulo de rotura de las vigas VC 5,2

Identificación del Ensayo	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Carga en el límite elástico (kg)
Viga 1	2053,07	55	47,73	819,49
Viga 2	1853,03	50	46,76	702,8
Viga 3	1736,34	35	47,73	752,81
Viga 4	1586,31	32	43,86	736,14
Viga 5	1936,38	40	44,83	802,82
Viga 6	1936,38	47	41,93	786,15
Viga 7	2036,4	38	48,69	802,82
Promedio	1876,84	42,43	45,93	771,86
Desv. Estándar	167,49	8,42	2,46	42,42
Coef. de Variación	8,92%	19,85%	5,35%	5,50%
Valor Máximo	2053,07	55	48,69	819,49
Valor Mínimo	1586,31	32	41,93	702,8

Cuadro 6. Módulo de rotura de las vigas VC 9

Identificación del Ensayo	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Carga en el límite elástico (kg)
Viga 1	3019,93	54	65,9	1252,91
Viga 2	2703,2	52	66,76	1269,58
Viga 3	3720,07	62	85,68	1636,32
Viga 4	2603,18	36	64,18	1219,57
Viga 5	3036,6	50	65,04	1236,24
Viga 6	2886,57	43	73,64	1402,94
Viga 7	2419,81	31	66,76	1269,58
Promedio	2912,77	47	69,71	1326,73
Desv. Estándar	420,72	10,81	7,69	149,06
Coef. de Variación	14,44%	23,07%	11,03%	11,23%
Valor Máximo	3720,07	62	85,68	1636,32
Valor Mínimo	2419,81	31	64,18	1219,57

Los valores promedios de módulo de rotura para ambos casos de vigas, demuestran que con un espesor mayor de contrachapado se obtienen mayores niveles de MOR. Esta modificación en el espesor de 5,2 mm a 9 mm, tiene efectos positivos, debido a que al aumentar el espesor del contrachapado se logra aumentar la capacidad de carga de las vigas cajón, generando un aumento de un 51,77%.



Al analizar el contrachapado en su sección transversal, una viga VC 5,2 comparada con una viga VC 9, el aumento de sección transversal es de un 19,36% solamente. Dado este resultado y basándose en lo señalado anteriormente se puede concluir que al aumentar la sección transversal del contrachapado en un 19,36% se produce un aumento en la carga máxima de un 55,97%. Por este motivo si se quiere obtener



niveles de carga máximas mayores se debe aumentar el espesor del contrachapado, aunque teniendo en cuenta otros factores de diseño como son, el costo mayor que tiene el aumento de espesor del material, el aumento del peso propio de los elementos, las consideraciones de rigidez y estabilidad de la aplicación.

4.2 Determinación de fallas

El tipo de fractura que se presentan en las vigas VC 5,2 y VC 9 al fallar se presentan en el cuadro 7. En el anexo 3 se puede observar con mayor detalle las fallas producidas a cada una de las vigas.

Cuadro 7. Tipo y descripción de la falla.

Tipos de Fallas	Descripción	Ejemplos
Tipo I	<p>Fractura del contrachapado en el tercio central de la aplicación de la carga.</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viga 1 (VC 5,2) - Viga 3 (VC 5,2) - Viga 4 (VC 5,2) - Viga 6 (VC 5,2) - Viga 2 (VC 9) - Viga 3 (VC 9) - Viga 4 (VC 9) - Viga 5 (VC 9) - Viga 7 (VC 9) 	
Tipo II	<p>Desprendimiento del contrachapado.</p> <p>Este tipo de fallas se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viga 2 (VC 5,2) - Viga 5 (VC 5,2) - Viga 7 (VC 5,2) 	

<p>Tipo III</p>	<p>Fractura total de la viga (madera y contrachapado)</p> <p>Este tipo de fallas se presentó en la viga:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viga 6 (VC 9) 	
<p>Tipo IV</p>	<p>Pandeo.</p> <p>Este tipo de fallas se presentó en la viga:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viga 1 (VC 9) 	

Al realizar un análisis del gráfico de la figura 6 que presenta las fallas obtenidas, se puede observar que las vigas VC 5,2 sólo presentaron fallas de los tipos I y II. En el caso de la falla I, la cual representa el 57 % del total de la muestra. Este tipo de falla se esperaba, puesto que en el tercio central de la aplicación de la carga se presenta el momento flector mayor, en este punto, el contrachapado al tener un área menor a la de la pieza de madera, no es capaz de resistir los esfuerzos de carga y termina cediendo en la zona de tracción de la viga.

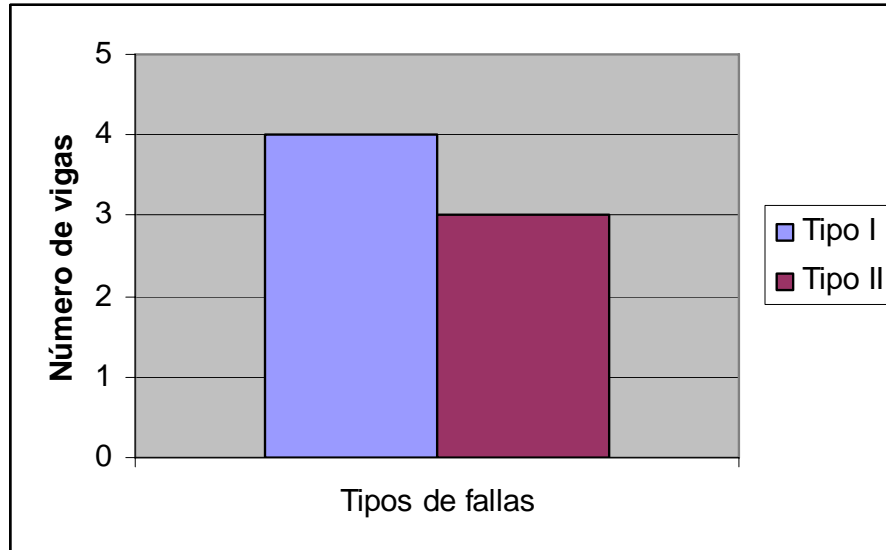


Figura 6. Resumen tipos de fallas en vigas VC 5,2.

Para solucionar la falla tipo II, que representa un 43 % del total de la muestra generada en la vigas VC 5,2, se proponen dos alternativas, primero se debería escoger otro tipo de clavo, esto debido a que al momento de aplicar la carga en la zona de compresión (cordón superior de la viga) el clavo no es capaz de resistir los esfuerzos de carga del contrachapado y este último se desprende de la madera provocado por una cabeza del clavo muy delgada. Otro factor que influye en este punto y es necesario tener presente, donde la cabeza del clavo no debe encontrarse embutida en el tablero, ya que esto también puede provocar el desprendimiento del contrachapado. Esto queda demostrado en la figura 7, donde se aprecia claramente como el contrachapado se libera de la unión realizada por el clavo sin mayores daños a su estructura. En la figura 8, se aprecia que el clavo se deforma pero no se desclava de la madera.



Figura 7. Desprendimiento del contrachapado en vigas VC 5,2 por falla tipo II.

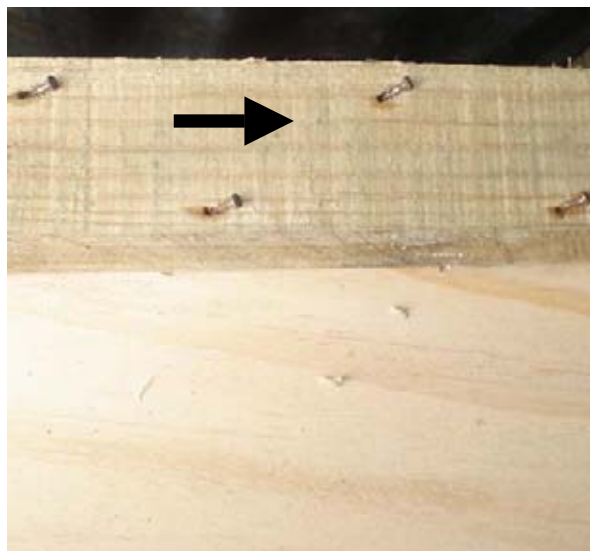


Figura 8. Deformación de los clavos.

La otra alternativa de solución es analizar una nueva distribución y aumentar la cantidad de clavos, con el fin de repartir los esfuerzos que sean generados por fuerzas exteriores que actúen sobre ellos, considerando que en compresión es donde la deformación del clavo es mayor, se podrían en esta zona de la viga, reducir los espacios entre clavos y mantener la distancia de los clavos en la zona de tracción (cordón inferior de la viga).

Las fallas del tipo III y IV, que se refieren a fractura total de la viga y pandeo, no se presentaron en los ensayos realizados a la viga VC 5,2.

En la figura 8 además se puede apreciar claramente el comportamiento del clavo en un ensayo de flexión, cuando es solicitado a esfuerzos de compresión, este elemento de unión tiende a deformarse hacia el centro de la viga tal como lo indica la figura (flecha indica el centro de la viga). En el caso de la zona de tracción (cordón inferior de la viga) el clavo se deforma hacia fuera de esta tal como lo muestra la flecha de la figura 9. Sin embargo es importante señalar que la deformación sufrida por el clavo en la zona de compresión es mucho mayor que en la zona de tracción. (Esta determinación fue realizada de forma visual).

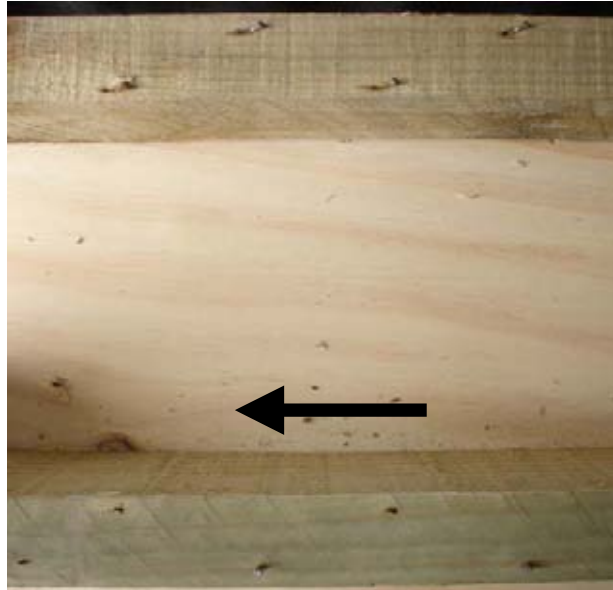


Figura 9. Comportamiento del clavo en tracción

Se observan las fallas de las vigas VC 9 en la figura 10, un 71 % de las piezas ensayadas presentan la falla Tipo I, la cual como fue señalado anteriormente se encuentra dentro de la falla esperada debido a que los momentos flectores en el tercio central de la aplicación de la carga son mayores.

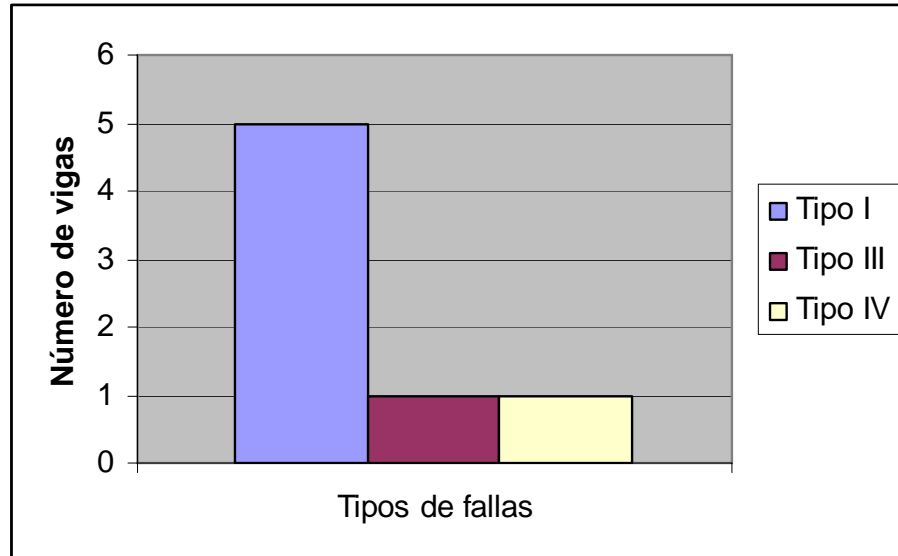


Figura 10. Resumen tipos de fallas en vigas VC 9.

La falla tipo II no se presentó en estas vigas, debido a que los esfuerzos de carga producto de la cantidad y distribución de los clavos fueron los correctos ya que no se generaron problemas en la unión de contrachapado con la madera.

La falla tipo III (representa el 14,28% de la muestra), se produjo exclusivamente por la presencia de un nudo en el cordón inferior de la viga, además este defecto se encontraba dentro del tercio central de la aplicación de la carga (zona del mayor momento flector). Por lo indicado anteriormente, cuando la viga fue cargada, el nudo no fue capaz de soportar la tracción que se genera en el cordón inferior y se partió. Esta falla con relación a su carga máxima no presentó una diferencia significativa, lo cual se puede apreciar en el cuadro 7.

La falla tipo IV se genera por la inestabilidad geométrica, provocando el pandeo del cordón comprimido y produciendo la torsión de la viga. Debido a que solo una viga presentó la falla (14,28% de la muestra) se puede inferir que esta pudo ser provocada por el mal asentamiento de los rodillos distribuidores de carga o que la viga no se encontraba en un ángulo paralelo con los rodillos. En relación a los resultados de carga máxima, estos se encontraron por sobre el promedio. De esto se desprende que el pandeo no afectó de manera significativa la capacidad de carga de la viga.

5. CONCLUSIONES

El módulo de elasticidad promedio de las vigas VC 9 resultó un 11,7% mayor que el de las vigas VC 5,2 y el módulo de rotura respectivo un 51,8% mayor. Ambas situaciones responden directamente a la diferencia existente en el espesor del contrachapado y al diámetro de los clavos.

Los valores promedios de carga máxima obtenidos para ambos tipos de vigas (cuadros 5 y 6), en el caso de las vigas VC 5,2, un valor promedio de carga máxima de 1867,3 kg y en las vigas VC 9 de 2.912,8 kg. Lo que muestra un aumento del 55,9% en capacidad de carga. Es decir, al comparar el contrachapado en su sección transversal, encontramos una variación de un 19,4% (aumento del contrachapado de 5,2 mm a 9 mm), lo cual genera el aumento en la capacidad de carga de las vigas cajón en un 55,9%.

Por este motivo, si se quieren obtener mayores niveles de carga máxima, se debe aumentar el espesor del contrachapado y el diámetro de los clavos, sin embargo hay que considerar otros factores de diseño como son, el mayor costo que tiene el aumentar el espesor del material, el aumento del peso propio de los elementos, las consideraciones de rigidez y estabilidad de la aplicación.

En cuanto a los tipos de fallas, se puede mencionar que en el caso de la falla I (presentadas en ambos tipos de vigas), corresponde a una falla esperada, puesto que en el tercio central de la aplicación de la carga se presenta el momento flector mayor, en este punto, el contrachapado al tener una sección menor a la de la pieza de madera, no es capaz de resistir los esfuerzos de carga y termina cediendo en la zona de tracción de la viga. Esta falla representa el 64,3% del total de vigas ensayadas.

La falla tipo II, se presentó solo en las vigas VC 5,2 y representan el 43% de estas. El contrachapado se desprende de la madera debido al pequeño diámetro de la cabeza del clavo, esto se pudo observar ya que el contrachapado se libera de la unión realizada por el clavo sin mayores daños a su estructura. Otro factor que influye en este punto y es necesario tener presente, es la penetración del clavo en el contrachapado, ya que la cabeza de este no debe encontrarse embutida en el tablero. Como solución a este tipo de falla, en primer lugar se debería seleccionar otro tipo de clavo, con un mayor diámetro (para reducir la deformación sufrida por las cargas) y una cabeza de mayor diámetro. También el encargado de efectuar la unión del tablero con la madera debe tener cuidado de no embutir la cabeza del clavo en el contrachapado, porque de esta forma estaría rompiendo la fibra y generando un área propensa a fallar.

En este tipo de falla, como otra alternativa de solución se debe analizar una nueva distribución y aumentar la cantidad de clavos, con el fin de repartir los esfuerzos que sean generados por fuerzas exteriores que actúen sobre ellos, considerando que en compresión es donde la deformación del clavo es mayor. En esta zona de compresión de la viga se podrían reducir los espacios entre clavos y mantener la

distancia de los clavos en la zona de tracción (cordón inferior de la viga), ya que en este cordón la deformación del clavo es mínima (evaluación visual).

La falla tipo III, se presentó por la presencia de un nudo en el cordón inferior de la viga, además este defecto se encontraba dentro del tercio central de la aplicación de la carga (zona del mayor momento flector). Por lo indicado anteriormente, cuando la viga fue cargada, el nudo no fue capaz de soportar la tracción que se genera en el cordón inferior y se partió. Por este motivo es de suma importancia verificar cada uno de los cordones que conforman la estructura de la viga, sobretodo las piezas de madera que van a ser sometidas a esfuerzos de tracción (cordón inferior).

La falla tipo IV se genera por inestabilidad geométrica, provocado por el pandeo del cordón comprimido, produciendo la torsión de la viga. Debido a que solo una viga presentó la falla (14,3% de la muestra) se puede inferir que esta pudo ser provocada por el mal asentamiento de los rodillos distribuidores de carga o que la viga no se encontraba en un ángulo paralelo con los rodillos. En relación a los resultados de carga máxima, estos se encontraron por sobre el promedio. De esto se desprende que el pandeo no afectó de manera significativa la capacidad de carga de la viga.

6. BIBLIOGRAFÍA

Beer, F. y Johnston, E. R. 1977. Mecánica Vectorial para Ingenieros (Estática Tomo I). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana S.A.

Chan, 2004. Universidad Autónoma de Yucatán. 2004. Tableros de madera de partículas INTERNET: www.uady.mx/sitios/ingenier/revista/volumen8/tableros.pdf.html (Abril 17, 2005).

CORMA, 2003a. Centro de transferencia tecnológica Pino radiata. pp. 37.

CORMA, 2003b. Centro de transferencia tecnológica Pino radiata. pp. 49-54.

CORMA, 2003c. Centro de transferencia tecnológica Pino radiata. pp. 126-130.

CORMA, 2000. Entramado Horizontal. Capítulo 9. En: Construcción de viviendas en madera. pp. 21-22.

Cuevas, H. 1982. Tablas para el cálculo y diseño de uniones clavadas. Valdivia, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 9 p. (Pub. Doc, 7)

NAFI, 1989a. National Association of Forest Industries. 7 (0): pp. 15–16.

NAFI, 1989b. National Association of Forest Industries. 7 (4): pp. 3–4.

NCh 1198, Uniones con clavos, Capítulo 10.9. En: Manual de construcciones en madera. pp. 126-134

NCh 2824 c.2002 Maderas – Pino radiata – Unidades, dimensiones y tolerancias.

Poblete C., R. Hempel 1980. Edificación en madera. Concepción, Universidad del Bio Bio. 16-19 p. (Documento 8).

Rogel, A. 1979, Impregnación a Presión con Sales Hidrosolubles de CCA. INFOR 3p. (Informe Técnico, 68)

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract

Abstract

Work method was based on the analysis of two types of beams, which they differentiate geometrically between if, single by the thickness of the plywood. In these beams the union of the board with the wood is made by nails.

By means of the flexion test, obtained values of load and deformation, taking readings of these data every 10 seconds. With this information the module was moderate of elasticity and the breakage module was determined.

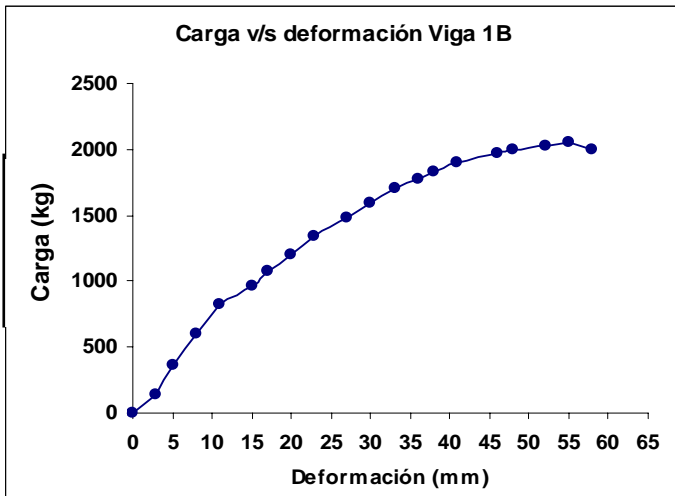
Later each one of the tests in detail the type of fracture was observed that determined the fault of the beam and was elaborated a picture summary that identifies the faults in four types.

Finally, as result determined that when modifying the plywood in its cross-sectional section, considering the increase from 5.2 mm in 9 mm, a variation of a 19.36% exists, which generates an increase in the fully factored load of 55,97%. With the given results, one concludes that if it is wanted to obtain load levels greater principles the thickness is due to increase of the plywood. In the MOE it concluded that this difference of thickness in the board plywood generates increase of a 11,7%. Other factors are due to consider design like: the cost of the increase of thickness of the material, the increase of the own weight of elements, the considerations of rigidity and the stability of the application.

Key words: *Beam drawer, plywood, mechanical properties, test of flexion, nails.*

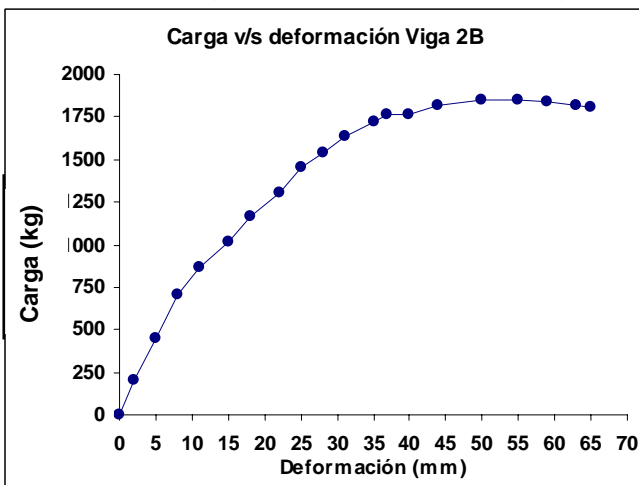
ANEXO 2
Cuadros y graficas de carga vs deformación

Viga 1 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



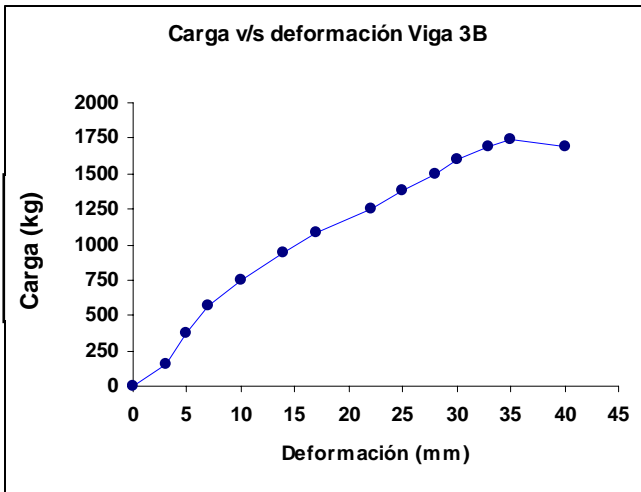
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
136,02	3
369,4	5
602,78	8
819,49	11
969,52	15
1069,54	17
1202,9	20
1336,26	23
1486,29	27
1586,31	30
1703	33
1769,68	36
1836,36	38
1903,04	41
1969,72	46
2003,06	48
2019,73	52
2053,07	55
2003,06	58

Viga 2 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



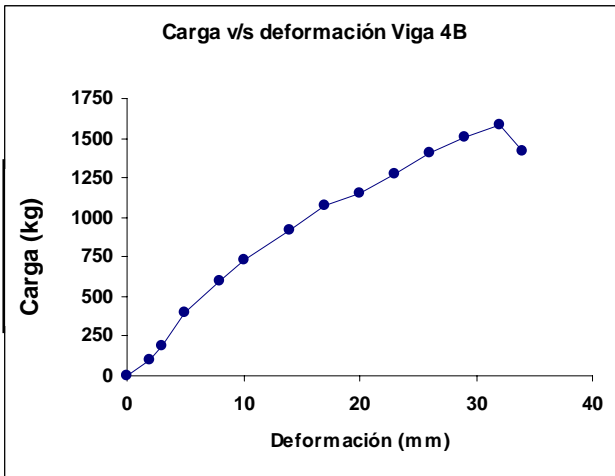
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
202,7	2
452,75	5
702,8	8
869,5	11
1019,53	15
1169,56	18
1302,92	22
1452,95	25
1536,3	28
1636,32	31
1719,67	35
1769,68	37
1769,68	40
1819,69	44
1853,03	50
1853,03	55
1836,36	59
1819,69	63
1803,02	65

Viga 3 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



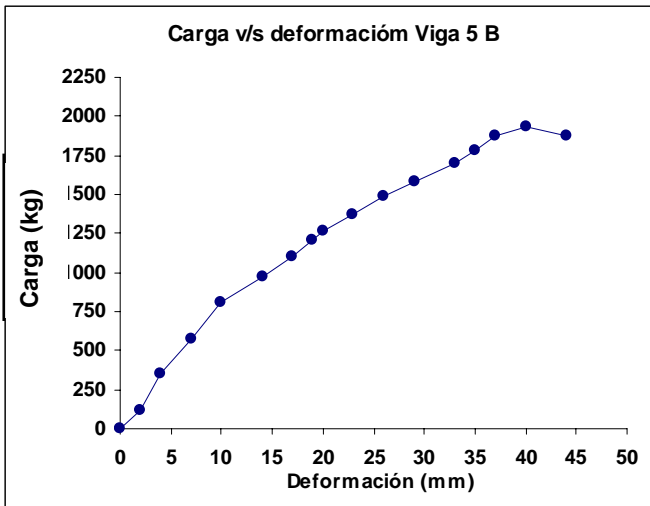
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
152,69	3
369,4	5
569,44	7
752,81	10
936,18	14
1086,21	17
1252,91	22
1386,27	25
1502,96	28
1602,98	30
1686,33	33
1736,34	35
1686,33	40

Viga 4 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



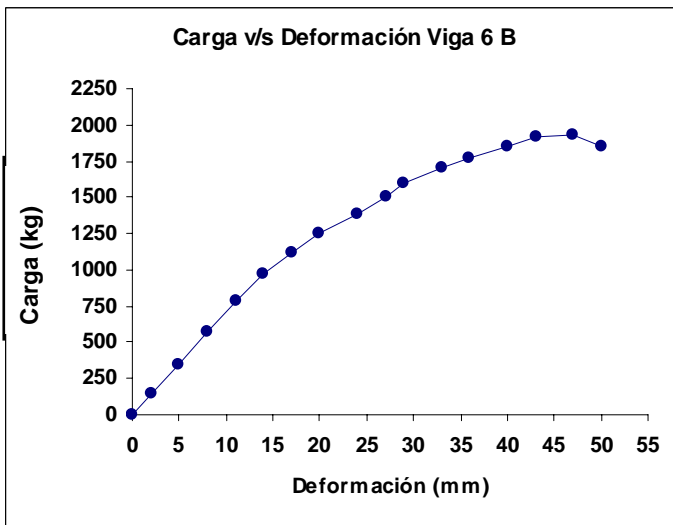
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
102,68	2
186,03	3
402,74	5
602,78	8
736,14	10
919,51	14
1069,54	17
1152,89	20
1269,58	23
1402,94	26
1502,96	29
1586,31	32
1419,61	34

Viga 5 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



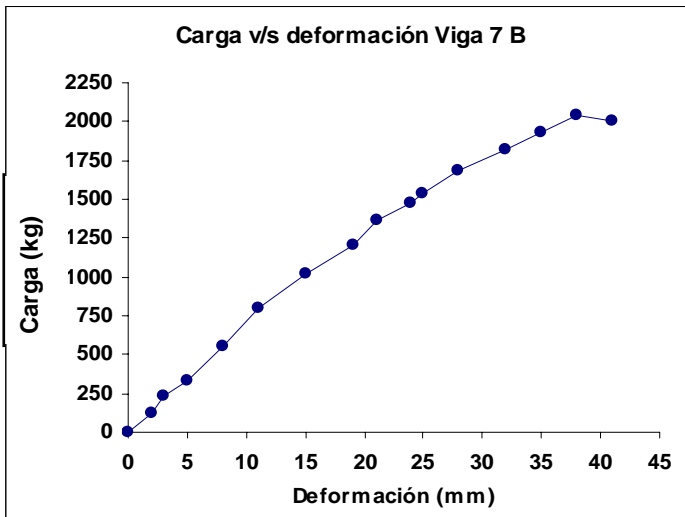
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
119,35	2
352,73	4
569,44	7
802,82	10
969,52	14
1102,88	17
1202,9	19
1269,58	20
1369,6	23
1486,29	26
1586,31	29
1703	33
1786,35	35
1869,7	37
1936,38	40
1869,7	44

Viga 6 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



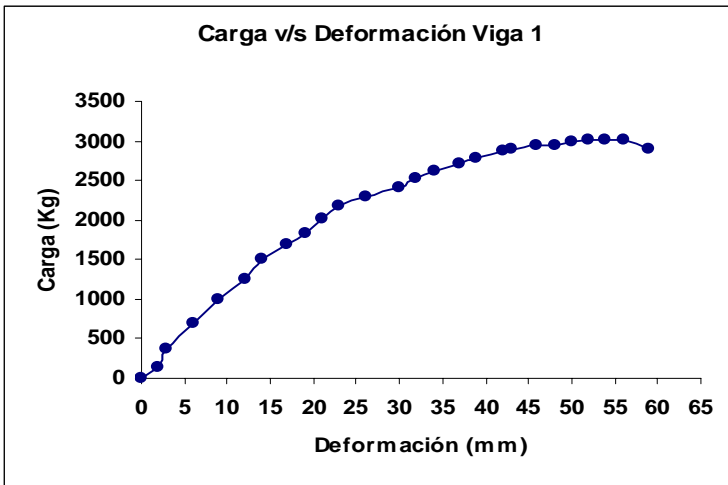
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
152,69	2
352,73	5
569,44	8
786,15	11
969,52	14
1119,55	17
1252,91	20
1386,27	24
1502,96	27
1602,98	29
1703	33
1769,68	36
1853,03	40
1919,71	43
1936,38	47
1853,03	50

Viga 7 (VC 5,2): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



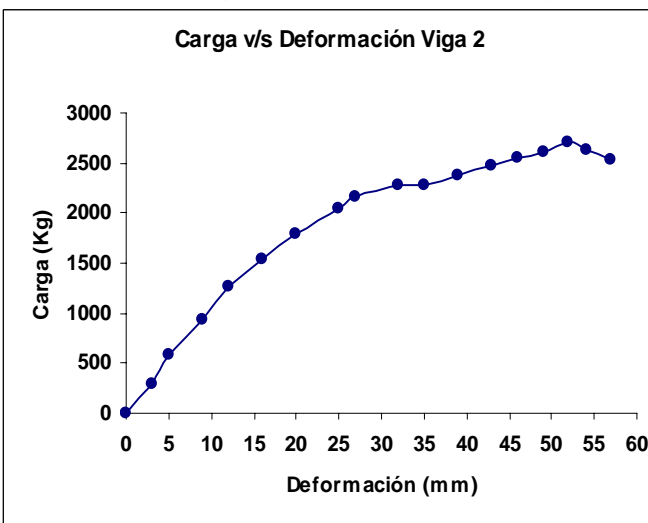
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
119,35	2
236,04	3
336,06	5
552,77	8
802,82	11
1019,53	15
1202,9	19
1369,6	21
1469,62	24
1536,3	25
1686,33	28
1819,69	32
1936,38	35
2036,4	38
2003,06	41

Viga 1 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



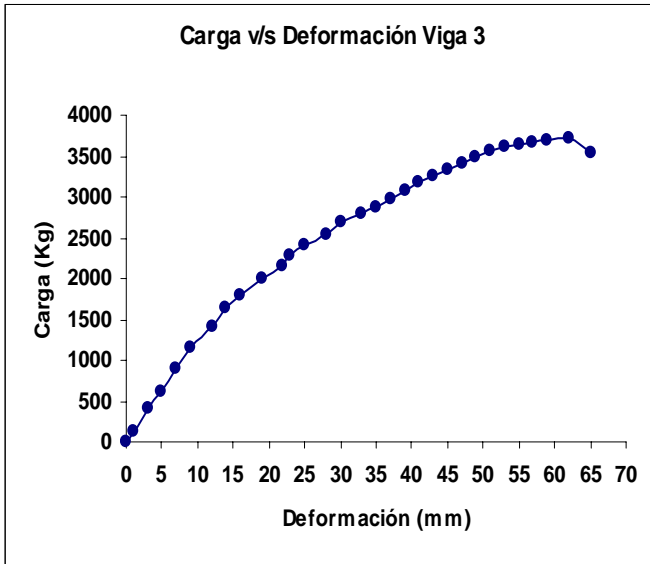
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
136,02	2
369,4	3
702,8	6
1002,86	9
1252,91	12
1502,96	14
1686,33	17
1836,36	19
2019,73	21
2169,76	23
2303,12	26
2419,81	30
2536,5	32
2619,85	34
2703,2	37
2786,55	39
2869,9	42
2903,24	43
2936,58	46
2953,25	48
2986,59	50
3003,26	52
3019,93	54
3019,93	56
2886,57	59

Viga 2 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



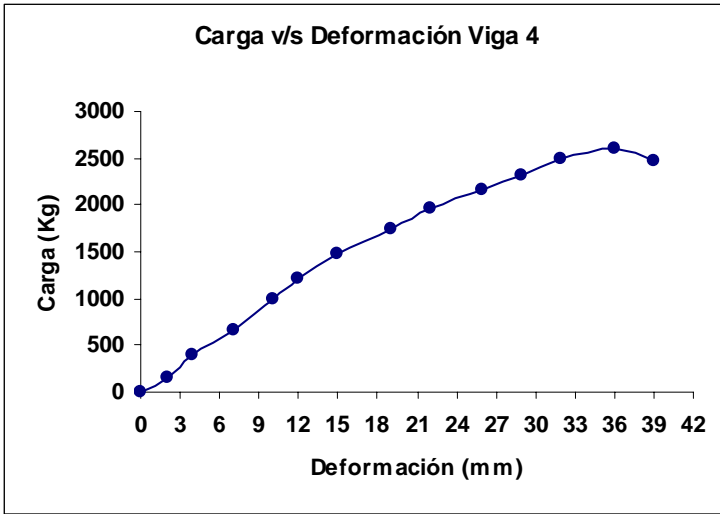
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
286,05	3
586,11	5
936,18	9
1269,58	12
1536,3	16
1786,35	20
2036,4	25
2153,09	27
2286,45	32
2286,45	35
2369,8	39
2469,82	43
2553,17	46
2619,85	49
2703,2	52
2636,52	54
2536,5	57

Viga 3 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



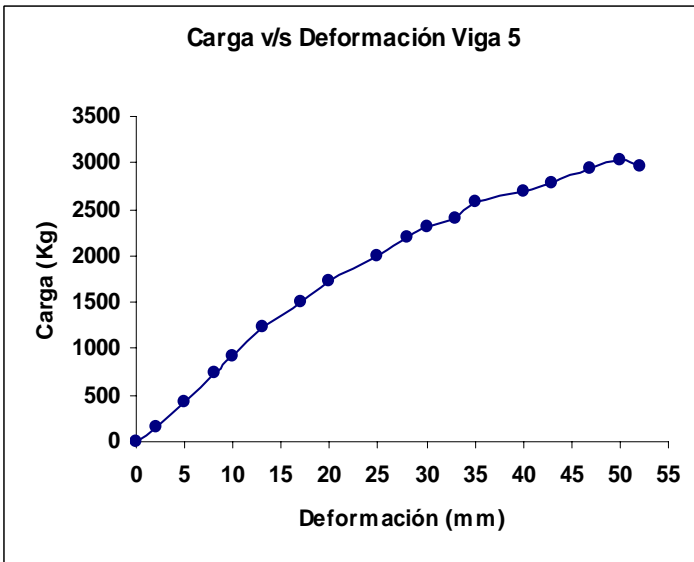
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
119,35	1
419,41	3
602,78	5
902,84	7
1152,89	9
1402,94	12
1636,32	14
1803,02	16
2003,06	19
2153,09	22
2286,45	23
2403,14	25
2536,5	28
2686,53	30
2786,55	33
2869,9	35
2986,59	37
3069,94	39
3169,96	41
3253,31	43
3336,66	45
3403,34	47
3486,69	49
3553,37	51
3620,05	53
3653,39	55
3670,06	57
3686,73	59
3720,07	62
3536,7	65

Viga 4 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



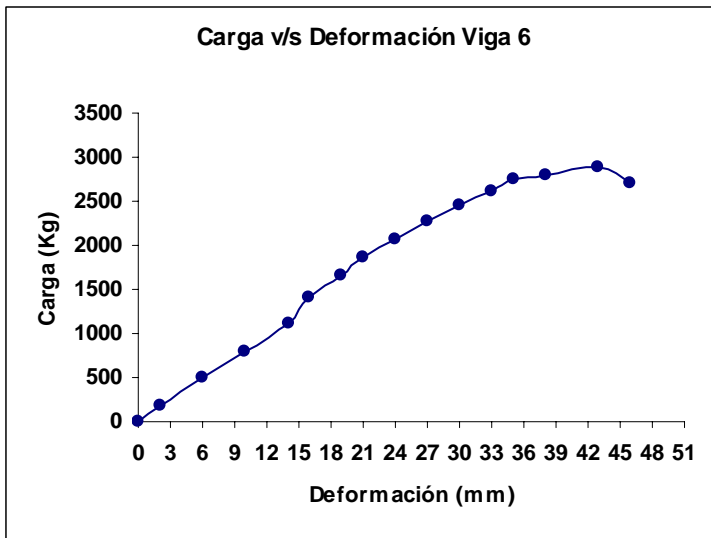
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
152,69	2
402,74	4
652,79	7
986,19	10
1219,57	12
1469,62	15
1736,34	19
1953,05	22
2169,76	26
2319,79	29
2486,49	32
2603,18	36
2469,82	39

Viga 5 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



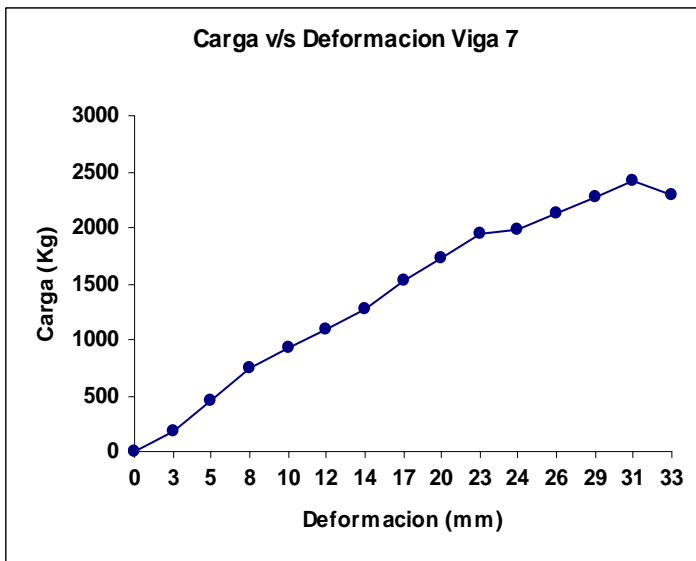
Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
152,69	2
419,41	5
736,14	8
919,51	10
1236,24	13
1502,96	17
1736,34	20
2003,06	25
2203,1	28
2303,12	30
2403,14	33
2569,84	35
2703,2	40
2786,55	43
2936,58	47
3036,6	50
2953,25	52

Viga 6 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
186,03	2
502,76	6
802,82	10
1119,55	14
1402,94	16
1652,99	19
1869,7	21
2069,74	24
2269,78	27
2453,15	30
2603,18	33
2753,21	35
2786,55	38
2886,57	43
2703,2	46

Viga 7 (VC 9): Cuadro y gráfico de Carga v/s Deformación



Carga "P" (kg)	Δ (mm)
0	0
186,03	3
452,75	5
752,81	8
919,51	10
1086,21	12
1269,58	14
1519,63	17
1736,34	20
1936,38	23
1986,39	24
2119,75	26
2269,78	29
2419,81	31
2286,45	33

ANEXO 3
Cuadros de fallas

Viga 1 (VC 5,2): (Falla contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 2 (VC 5,2): (Falla producida por el desprendimiento del contrachapado)



Viga 3 (VC 5,2): (Falla contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 4 (VC 5,2): (Falla contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



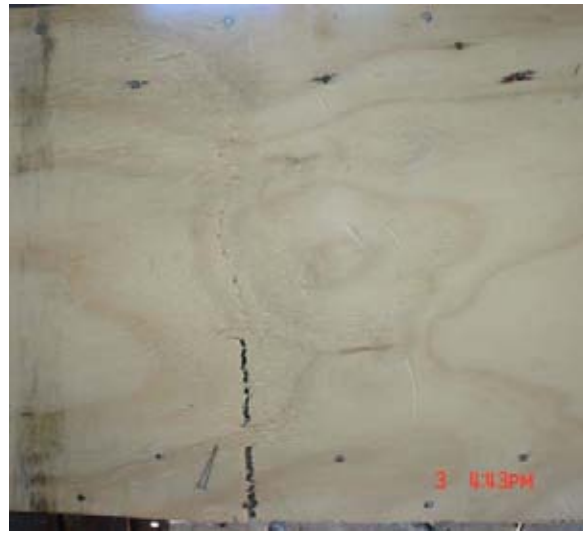
Viga 5 (VC 5,2): (Falla producida por el desprendimiento del contrachapado)



Viga 6 (VC 5,2): (Falla producida por el desprendimiento del contrachapado)



Viga 7 (VC 5,2): (Falla contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 1 (VC 9): (Falla por pandeo y fractura del contrachapado)



Viga 2 (VC 9): (Falla del contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 3 (VC 9): (Falla del contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 4 (VC 9): (Falla del contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 5 (VC 9): (Falla del contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)



Viga 6 (VC 9): (Falla de madera y contrachapado por la presencia de un nudo)



Viga 7 (VC 9): (Falla del contrachapado en el tercio central de la luz de ensayo)

