

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Angela Salinas Barrera

Profesores Comisión : Cristian Belmar González

Alexander Opazo Vega

EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
CARACTERIZACIÓN DE VIGAS
DOBLE T DE PINO RADIATA

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MANUEL ALFREDO QUINTANA SAN MARTIN

CONCEPCIÓN, MAYO 2013

Dedicado:

Especialmente a mi familia y amigos por el apoyo incondicional en cada momento de esta etapa universitaria, que me permitió alcanzar este título profesional...

Agradecimientos:

A Dios por permitirme compartir sus enseñanzas a través de la catequesis de niños, y por entregarme la fuerza y sabiduría durante todo el proceso académico.

A mi madre Leticia San Martín y a mi padre Manuel Quintana por entregarme durante toda mi vida las herramientas valóricas y materiales, pero lo más importante su apoyo incondicional en cada segundo de esta etapa maravillosa.

A mis compañeros de universidad Esteban Salas y Angelo Sandoval, además a mis amigos de pensión Alex Melo y Nicolás López, que a través de su gran ayuda permitieron la realización de este proyecto.

A cada uno de los profesores que tuve durante mi etapa de estudiante, los cuales me entregaron los conocimientos y herramientas para desenvolverme en el ámbito laboral

NOMENCLATURA.

CITECUBB Centro de investigación en tecnologías de construcción Universidad del Bío-Bío.

MOE Módulo de elasticidad.

MOR Módulo de rotura.

TLP Tensión en el límite de proporcionalidad.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
1.1 Identificación y justificación del problema	4
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Metodología de trabajo	5
1.4 Alcances de la investigación	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Descripción de la viga doble T y la unión finger-joint	6
2.2 Propiedades mecánicas	6
2.3 Factores que influyen en las propiedades mecánicas.....	7
2.3.1 Factores inherentes de la madera.....	7
2.3.2 Adhesivo.	7
2.3.3 Factores de fabricación.	8
CAPÍTULO 3: EQUIPO Y MÉTODOS	9
3.1 Equipo de aplicación de cargas.	9
3.2 Método constructivo de las vigas doble T.....	10
3.3 Confiabilidad de la muestra.....	10
3.4 Procedimiento de ensayo.....	11
3.5 Procedimiento de cálculo	12
3.5.1 Cálculo del módulo de elasticidad.....	12
3.5.2 Cálculo del módulo de rotura y la tensión en el límite de proporcionalidad.	13
3.5.3 Cálculo de Inercia.	14
3.5.4 Cálculo distancia máxima entre centros de apoyo para vigas de piso y costaneras	14
3.5.5 Cálculo de la carga de viento dependiendo de la inclinación.	14

CAPÍTULO 4: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	15
4.1 Módulo de elasticidad	15
4.2 Tensión en el límite de proporcionalidad.....	16
4.3 Módulo de rotura	18
4.4 Cargas máximas.....	19
4.5 Tipos de fallas.....	19
4.5.1 Fallas primarias.....	20
4.5.2 Fallas secundarias.	22
CAPÍTULO 5: TABLAS DE DISEÑO PARA VIGAS DE PISO Y COSTANERAS	23
5.1 Distancia máxima entre centros de apoyo para vigas de piso	23
5.2 Distancia máxima entre centros de apoyo para costaneras de techo	24
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
REFERENCIAS	28
ANEXO A: IMÁGENES Y DESCRIPCIÓN DEL MARCO DE CARGA.	31
ANEXO B: MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LAS VIGAS DOBLE T.	34
ANEXO C: CÁLCULO DE CONFIABILIDAD CON PROGRAMA GPOWER.	42
ANEXO D: INERCIAS PARA V2T-150 Y V2T-120.	44
ANEXO E: VALORES DE CARGA VERSUS DESPLAZAMIENTO.	46
ANEXO F: GRÁFICOS DE CARGA V/S DESPLAZAMIENTO.....	59
ANEXO G: TABLAS DE CÁLCULO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	70
ANEXO H: DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES	80
ANEXO I: TABLAS DE CÁLCULO DE TENSIÓN EN EL LÍMITE PROPORCIONAL.....	84
ANEXO J: TABLAS DE CÁLCULO DE MÓDULO DE ROTURA	89
ANEXO K: GRÁFICOS DE CARGAS MÁXIMAS.....	94
ANEXO L: IMÁGENES DE LOS TIPOS DE FALLAS PARA CADA VIGA	95
ANEXO M: CARGA DE VIENTO Y COMBINACIÓN DE CARGA (COSTANERAS)	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección transversal vigas doble T.....	6
Figura 2: Marco de carga	9
Figura 3: Aplicación de las cargas y ubicación de apoyos.....	11
Figura 4: Fallas primarias para el total de las vigas.....	21
Figura 5: Fallas primarias por tipo de vigas	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación y caracterización de las vigas	10
Tabla 2. Módulo de elasticidad y estadígrafos básicos	15
Tabla 3. Tensión en el límite de proporcionalidad y estadígrafos básicos.....	17
Tabla 4. Módulo de rotura y estadígrafos básicos	18
Tabla 5. Cargas máximas y estadígrafos básicos.....	19
Tabla 6. Fallas primarias y secundarias para cada viga	22
Tabla 7. Distancia máxima entre centros de apoyo considerando piso tradicional	24
Tabla 8. Distancia máxima entre centros de apoyo considerando piso acústico.....	24
Tabla 9. Distancia máxima entre centros de apoyo para costaneras horizontales	25

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y CARACTERIZACIÓN DE VIGAS DOBLE T DE PINO RADIATA

Autor: Manuel Quintana San Martín

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo electrónico: maquint@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ángela Salinas Barrera

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo electrónico: asalinas@ubiobio.cl

RESUMEN

La empresa Franver se interesó en conocer el comportamiento de las vigas doble T, fabricadas de alma y alas de pino radiata aserrada, al ser sometidos al esfuerzo de flexión. El presente proyecto de título se enmarca en realizar el ensayo a flexión de ellas, para luego determinar sus módulos de elasticidad, módulos de rotura y tensiones en el límite de proporcionalidad, también se especificará cuáles son los tipos de fallas que se producen y se generarán tablas con la información de luz y separación entre vigas para uso de piso y costaneras de techo. En este estudio se trabajó con cuatro tipos de vigas, considerando las combinaciones entre dos secciones y dos largos. En cuanto al módulo de elasticidad, módulo de rotura y tensión en el límite de proporcionalidad se obtuvieron promedios de 90936,34 [kg/cm²], 245,33 [kg/cm²] y 208,25 [kg/cm²] respectivamente con una confiabilidad de 61,5%. Tras los ensayos se determinó que existe un 60% de fallas debido a errores en el proceso constructivo de las vigas, mientras que el 40% restante se produce por fractura total, ya que las vigas se encuentran trabajando perfectamente en conjunto (ala-alma-ala). De forma teórica se determinó que la distancia máxima entre apoyos alcanzada fue de 4,5 metros, y se obtuvo en las costaneras de altura 150 [mm] con separación de 0,31 [m]. Para alcanzar distancias entre apoyos mayores, se debe aumentar el módulo de elasticidad y/o la inercia.

Palabras claves: Módulo de elasticidad, Módulo de rotura, Tensión en el límite proporcional.

6110 palabras texto + 14 figuras/tablas*250 = 9610 palabras totales

MECHANICAL BEHAVIOR EVALUATION AND CHARACTERIZATION OF RADIATA PINE DOBLE T BEAMS

Author: Manuel Quintana San Martin

Civil and Environmental Engineering Department, University of the Bio Bío

maquint@alumnos.ubiobio.cl

Sponsor teacher: Angela Salinas Barrera

Civil and Environmental Engineering Department, University of the Bio Bío

asalinas@ubiobio.cl

ABSTRACT

The company Franver was interested in knowing the behavior of wooden radiata pine double T-beams flange and web when subjected to flexion force. The current thesis project is oriented to make a flexion assay to them, to then determinate their elasticity modules, rupture modules and tensions in the proportional limit, also which kind of failures are produced will be specified and charts will be created with long and separation between beams information for floor and purlin use. In this study four different types of beams were used, considering combinations between two sections and two lengths. Regarding to elasticity module, rupture module and tension in the proportional limit, averages of 90936,34 [kg/cm²], 245,33 [kg/cm²] and 208,25 [kg/cm²] were respectively obtained with a 61,5% reliability. After the assays, it was determined that a 60% of failures related to the constructive process of beams exists, while the remaining 40% is produced by complete fracture, since beams are perfectly working together (flange-web-flange). In theory it was determined that the maximum distance between supports reached was 4,5 meters, and was obtained in the purlins 150 [mm] height with 0,3 [m] of separation. To reach higher distances between supports, elasticity module and/or inertia must be increased.

Keywords: Elasticity module, Rupture module, Tension in the proportional limit.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Las vigas son elementos estructurales lineales, que permiten salvar luces y son capaces de soportar esfuerzos como: peso propio, sobrecarga de uso, viento, nieve y montaje.

Las vigas de madera de sección compuesta constituyen una alternativa de solución económica para la vivienda (Leiva 2007), ya que, utilizan menos material que las secciones llenas de madera y poseen más material concentrado en las alas, lo que permite generar una mayor resistencia a la flexión, obteniendo elementos optimizados desde el punto de vista estructural.

Estos elementos pueden ser usados en una amplia gama de aplicaciones (Pérez, 1995), tales como vigas de techumbre, costaneras, vigas de piso, dinteles, vigas de soporte de moldajes para hormigón, etc. Las vigas doble T son ampliamente utilizadas en Estados Unidos, Canadá y Europa (Louisiana Pacific, 2007), mientras que en Chile son muy pocos los profesionales que hacen uso de estos elementos, debido a un desconocimiento del comportamiento mecánico, ya que no existe ninguna normativa Chilena para ensayos a flexión de vigas doble T de madera.

En Estados Unidos existe la norma ASTM 5055 (2000), la cual establece el monitoreo y la evaluación de las capacidades estructurales de las vigas doble T, ya sea de manera experimental o teórica-experimental. Esta normativa permite llevar a cabo una completa certificación de este tipo de vigas.

Este proyecto utiliza la norma chilena Nch 803 (2003), que es para ensayos a flexión de paneles. Esta normativa permite obtener un análisis preliminar de las vigas doble T de alas y alma de pino radiata aserrada con uniones finger-joint.

1.1 Identificación y justificación del problema

El estudio de las vigas doble T de madera nació del interés de la empresa Franver de la región de la Araucanía que pretende fabricarlas y ponerlas en el mercado.

Las vigas doble T concentran las partes más importantes de material en los cordones superiores e inferiores, donde se producen los mayores esfuerzos de tracción y compresión. Este tipo de vigas al utilizar menos material, son más económicas y livianas que las vigas de sección llena. Al ser más livianas se facilita su montaje en la construcción de entrepiso y techo. (Leiva, 2007).

En general teniendo en cuenta algunos conceptos como los mencionados anteriormente es de interés conocer el comportamiento de cada una de las partes de las vigas, además del adhesivo que se utiliza en las uniones finger-joint y entre las tres piezas (ala-alma-ala) al ser sometidos al esfuerzo de flexión.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar por criterio de deformación y carga, las vigas doble T de alma y alas de madera de pino radiata aserrada.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar mediante el ensayo a flexión, el módulo de elasticidad (MOE), módulo de rotura (MOR) y la tensión en el límite de proporcionalidad (TLP).
- b) Especificar y analizar cuáles son los distintos tipos de fallas que se producen en las vigas doble T.
- c) Elaborar tablas que permitan ordenar la información de luz y separación entre vigas para las cargas de uso de piso y costaneras de techo.

1.3 Metodología de trabajo

Primero se estudiaron los trabajos de Pérez (1995) y Leiva (2007), en los cuales se ensayaron a flexión vigas doble T con alas de pino radiata y alma de tablero de OSB. Estos autores indican formulas y procedimientos de cálculo del MOE, MOR y la TLP.

Luego se registró el proceso constructivo de las vigas compuestas (alas y alma de pino radiata), para poder identificar las variables que podían afectar los resultados, en paralelo se efectuó la búsqueda de normativas para realizar el ensayo a flexión de las vigas doble T.

Posteriormente se realizó el ensayo a flexión, utilizando un marco de carga, obteniendo los valores de carga y desplazamiento para cada una de las vigas. A través del registro fotográfico de los ensayos se logra el segundo objetivo específico (especificar y analizar los distintos tipos de fallas), mientras que el primer objetivo específico (cálculo de MOR, MOE y TLP) se logra utilizando los datos de carga y desplazamiento. Finalmente para lograr el último objetivo específico se utiliza el MOE promedio del total de las vigas ensayadas.

1.4 Alcances de la investigación

La investigación desarrollada en este estudio, se resume en la utilización de 4 tipos de vigas doble T, considerando las combinaciones entre dos secciones y dos largos, estas serán ensayadas a flexión según la normativa Chilena Nch 803 (2003). A partir de ello se determinará y analizará el MOR, MOE, la TLP para poder caracterizar cada tipo de vigas.

Además se registrarán y analizarán los distintos tipos de fallas que ocurran al llegar a la rotura de las vigas.

Finalmente de forma teórica se crearan tablas con la información de luz y separación entre vigas doble T, tanto para uso de pisos como costaneras.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En el actual capítulo se presenta la descripción de las vigas doble T y se define el MOE, MOR y la TLP. Además se describen los factores que afectan las propiedades mecánicas.

2.1 Descripción de la viga doble T y la unión finger-joint

Las vigas doble T están formadas por un cordón superior y otro inferior de madera aserrada, con uniones dentadas (finger-joint) y por un alma central de tablero de hebras orientadas (OSB) que proporciona la altura (Corma, 2007).

En el presente proyecto las vigas están conformadas por madera de pino radiata aserrada, tanto para el alma como para el cordón superior e inferior. En la figura 1 se muestra la geometría de las vigas compuestas.

El mecanismo utilizado para lograr que los componentes de la viga doble T (ala y alma) no tengan defectos y posean los largos requeridos es la unión finger-joint. Según Salas (2005), el empalme finger-joint consiste en realizar un dentado y contradentado a la madera, aumentando al máximo la superficie de encolado de la unión y por tanto la resistencia de esta.

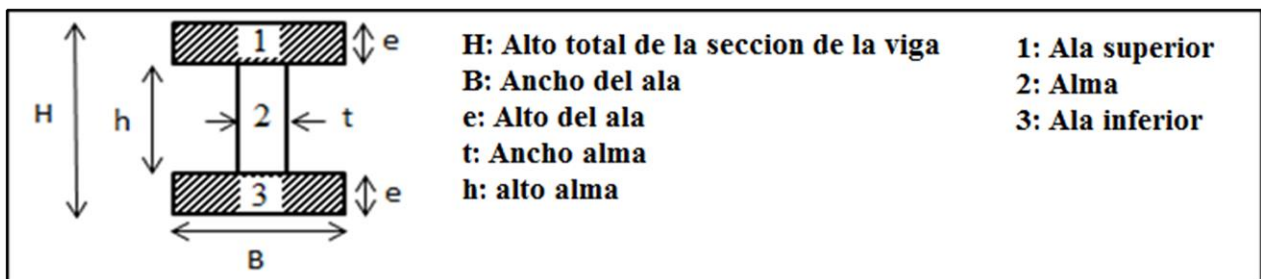


Figura 1. Sección transversal vigas doble T.

(Fuente: Elaboración Propia)

2.2 Propiedades mecánicas

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

En este estudio las vigas doble T son ensayadas a flexión y a través de los datos de carga y desplazamiento se determina el MOE, MOR y la TLP.

- ✓ MOE: Resistencia a la deformación vertical de la probeta de ensayo. Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solo a condiciones de trabajo dentro de la zona elástica de la curva tensión-deformación (Nch 987, 1986).

- ✓ MOR: Medida de la máxima capacidad resistente que tiene una probeta de ensayo para soportar una carga aplicada en forma gradual durante un periodo corto de tiempo. Criterio de resistencia aceptado mundialmente, aun cuando no corresponde a una tensión real debido a que la formula con la cual se determina solamente es válida en la zona elástica (Nch 987, 1986).

- ✓ TLP: Punto del gráfico tensión-deformación en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial. Cuando se alcanza el punto mencionado anteriormente el elemento deja de trabajar en la zona elástica y pasa a la zona plástica. (Nch987, 1986).

2.3 Factores que influyen en las propiedades mecánicas

Muchos son los factores que influyen en las propiedades mecánicas de la madera, estos pueden ser separados en tres categorías.

2.3.1 Factores inherentes de la madera.

La madera es un material heterogéneo, ya que, las probetas de una especie maderera determinada, extraídas de diferentes árboles o de un mismo árbol muestran variabilidad en su resistencia. Esta variabilidad responde a diferencias genéticas, ambientales o ambas. Los factores inherentes que inciden sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas son: defectos, densidad, contenido de humedad, temperatura, tratamiento de la madera (Nch 992, 1972).

2.3.2 Adhesivo.

El adhesivo utilizado para la confección de las vigas doble T es urea-formaldehido, más conocido por su nombre comercial Adelite 6238. Algunas de sus características: es solvente en agua, posee una viscosidad de 5000 [mPa*s], su temperatura de fraguado se encuentra entre 20 a 120 [°C] (Oxiqum, 2006).

✓ *Encolado de las uniones finger-joint y ala-alma-ala.*

Según Aranda (2004), el encolado debe efectuarse inmediatamente después del maquinado, a fin de evitar deformaciones de los dientes debido a tensiones internas o bien producto de contracciones de la madera.

Para obtener uniones (finger-joint y ala-alma-ala) de alta calidad es necesario: Preparar superficies lisas, secas, limpias y sin daño superficial teniendo en cuenta que la cantidad de adhesivo esparcido debe estar entre 400 a 600 [g/m²] (Morales, 2001).

2.3.3 *Factores de fabricación.*

✓ *Realización del dentado y prensado.*

Un requerimiento importante para llevar a cabo una unión dentada de alta calidad, es mantener el diseño de la unión durante toda la producción (Aranda, 2004), para ello es necesario realizar mantención de los cuchillos de la máquina.

La presión que ejerce la prensa debe estar entre 5 a 12 [kg/cm²], teniendo en cuenta un tiempo mínimo de 12 horas (Messer, 2007), esto para el caso de la unión ala-alma-ala.

En la unión dentada la máquina finger-joint genera una presión entre 50 y 100 [kg/cm²], por un tiempo máximo de 2 segundos (Casado, 2012).

CAPÍTULO 3: EQUIPO Y MÉTODOS

En este capítulo se indica el equipo utilizado para la aplicación de cargas (flexión). Además se mencionan los procedimientos de ensayo y de cálculo.

Los ensayos se llevaron a cabo en el Centro de investigación en tecnologías de construcción Universidad del Bío-Bío (CITECUBB) durante el mes de diciembre del 2012.

3.1 Equipo de aplicación de cargas.

En la figura 2 se muestra el marco de carga utilizado para realizar el ensayo a flexión. La fuerza se ejerce a través de una bomba hidráulica sobre una viga metálica, esta a su vez traspassa la carga de forma puntual a través de dos rodillos metálicos a la viga doble T según lo establecido en la normativa Nch 803 (2003). Existen dos medidores de deformación que están conectados a un computador, en donde se pueden observar los desplazamientos.

La magnitud de la fuerza se observa en el medidor electrónico, que se encuentra unido a la celda de carga y trabaja en conjunto con la bomba hidráulica. Véase *anexo A Imágenes y descripción del marco de carga*.



Figura 2. Marco de carga.
(Fuente: Elaboración Propia)

3.2 Método constructivo de las vigas doble T

Se realiza el proceso de aserrado cuando la madera se encuentra en estado verde, luego se lleva a la cámara de pre-secado y secado, en donde se alcanza una humedad entre 8 a 12%.

Después se lleva a cabo el dimensionamiento de las alas y alma, tanto en su ancho y alto. Con las piezas ya dimensionadas, se efectúa la clasificación visual y se troza la madera.

Luego se le realiza el dentado a los trozos de madera y se les pone adhesivo, posteriormente se aplica una presión de 80 [kg/cm²] para ir uniendo los dientes hasta alcanzar la longitud requerida.

Este proceso se ejecuta por separado tanto para las almas y alas.

En seguida se cepillan las cuatro caras de las alas y almas, además se realiza una ranura a las alas, que finalmente permite lograr la unión de la viga doble T.

Véase Anexo B, Método constructivo de las vigas doble T.

En este estudio, se utilizó cuatro tipos de vigas doble T como se muestra en la tabla 1. Cada tipo de viga posee 5 elementos.

Tabla 1. Identificación y caracterización de las Vigas

(Fuente: Elaboración Propia)

	Identificación	B	H	t	e	Largo	M. Inercia
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm ⁴]
	V2T-150-5000	55	150	20	32	5000	1361
	V2T-150-3200	55	150	20	32	3200	1361
	V2T-120-5000	50	120	20	32	5000	676
	V2T-120-3200	50	120	20	32	3200	676

Nota: V2T-150-5000 significa que es una viga doble T de altura 150 milímetros y de largo 5 metros.

3.3 Confiabilidad de la muestra

Para obtener la confiabilidad se utilizó el método de Cohen. En este método se utiliza una hipótesis nula y una alternativa. La hipótesis nula indica que el promedio de los MOE, MOR y TLP son distintos, mientras que la hipótesis alternativa consiste en que el promedio de los MOE, MOR y TLP son iguales. A través del programa GPower se obtiene como resultado que la confiabilidad o potencia alcanza un valor de 61,5%, esto indica que la hipótesis nula se rechaza cuando es falsa en un 61,5%. Véase Anexo C, Cálculo de confiabilidad utilizando el programa GPower.

3.4 Procedimiento de ensayo

El ensayo de flexión se realizó según los requerimientos de la normativa chilena Nch 803 (2003) como se muestra en los siguientes puntos:

✓ *Ubicación de apoyos.*

La distancia desde el borde de la viga al eje longitudinal del rodillo de apoyo, es 75 [mm], como se muestra en la figura 3.

✓ *Aplicación de la carga.*

La carga vertical se aplicó de tal forma que se repartió en dos cargas verticales de igual magnitud, ubicadas a una distancia de $L/4$ de cada apoyo como se aprecia en la figura 3.

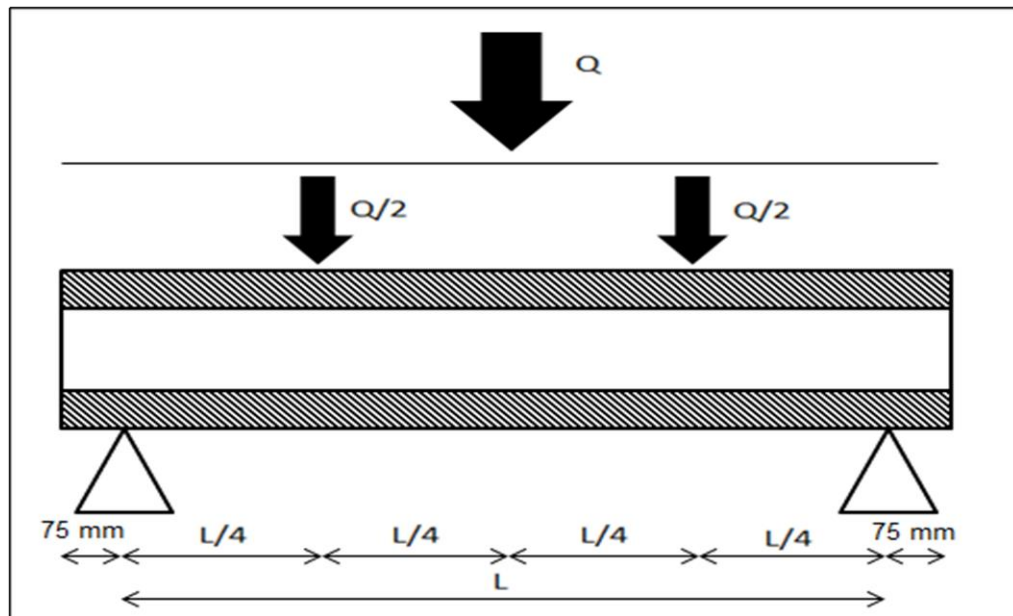


Figura 3. Aplicación de las cargas y ubicación de apoyos
(Fuente: Elaboración Propia)

✓ *Incrementos de carga.*

Las cargas fueron aplicadas en incrementos iguales con una tolerancia de $\pm 10\%$ de la carga. Los incrementos se eligieron de modo que entreguen un número mínimo suficiente de lecturas para determinar la curva carga/desplazamiento con una aproximación aceptable.

✓ *Aplicación de los incrementos de carga.*

El ensayo se inició con una carga nula. Se registró el desplazamiento correspondiente (lectura inicial), esta dependió del peso propio de la viga y del equipo repartidor de carga. Luego de esto se llevó a cabo el primer incremento y se registró el desplazamiento respectivo, este proceso se repite para los siguientes incrementos de carga.

✓ *Duración de los incrementos de carga.*

Después que se aplicó un incremento de carga, se mantuvo el nivel de carga lo más constante posible por un periodo de 5 minutos. Esto para asegurar la uniformidad del desarrollo del ensayo y entregar el tiempo suficiente para realizar los registros pertinentes.

✓ *Lectura de los datos.*

Las lecturas (desplazamientos) se tomaron lo más pronto posible al final del periodo de los 5 minutos bajo carga constante.

✓ *Finalización del ensayo.*

Cuando una viga que se encuentre bajo carga, indique que puede fallar repentinamente y dañar los aparatos de medición, se remueven los aparatos y se incrementa la carga continuamente hasta la rotura del elemento.

3.5 Procedimiento de cálculo

Los puntos mencionados a continuación, detallan las ecuaciones a utilizar para obtener el MOE, MOR y la TLP. También se detallan las ecuaciones para obtener la distancia máxima entre apoyos para vigas de piso y costaneras, teniendo en cuenta el promedio de los MOE obtenidos experimentalmente.

3.5.1 Cálculo del módulo de elasticidad.

Para calcular el MOE de las vigas, se utilizaron los datos de carga versus desplazamiento a través de la ecuación 1 que es para dos cargas puntuales ubicadas simétricamente.

$$E = \frac{P * a}{24 * \Delta_{max} * I} * (3 * l^2 - 4 * a^2) \quad \text{Ec. (1)}$$

- E : MOE [kg/cm²]
 P : Delta carga aplicada en el rango elástico [kg] (mitad del Δ carga total aplicada ver fig. 3)
 a : $l/4$, Distancia desde el apoyo a la carga puntual más cercana [cm]
 l : Luz entre apoyos [cm]
 Δmax : Delta desplazamiento máximo en el centro de la viga [cm]

3.5.2 Cálculo del módulo de rotura y la tensión en el límite de proporcionalidad.

Para obtener la TLP (ecuación 2), se utiliza el momento en el límite de proporcionalidad (ecuación 3) que depende de la carga en donde se produce el cambio desde el estado elástico al estado plástico y en el caso del cálculo del MOR (ecuación 4) se utiliza el momento máximo (ecuación 5) que depende de la carga de rotura.

$$TLP = \frac{Mlp}{Wx} \qquad Mlp = \frac{Plp * l}{4} \qquad \text{Ec. (2) y Ec. (3)}$$

$$MOR = \frac{Mmax}{Wx} \qquad Mmax = \frac{Pmax * l}{4} \qquad \text{Ec. (4) y Ec. (5)}$$

En ambos casos el modulo resistente es el mismo y se calcula a través de la ecuación 6:

$$Wx = \frac{Ix}{h/2} \qquad \text{Ec. (6)}$$

- TLP : Tensión en el límite de proporcionalidad [kg/cm²]
 Mlp : Momento en el límite de proporcionalidad [kg*cm]
 Plp : Carga en el límite de proporcionalidad [kg] (mitad de la carga total aplicada ver fig. 3)
 MOR : Módulo de rotura [kg/cm²]
 $Mmax$: Momento máximo [kg*cm]
 $Pmax$: Carga máxima [kg] (mitad de la carga total aplicada ver fig. 3)
 Wx : Módulo resistente [cm²]

3.5.3 Cálculo de Inercia.

La inercia se calcula utilizando el teorema de Steiner, separando la viga en tres figuras rectangulares (ala superior, alma, ala inferior), para ello se utiliza la ecuación 7, Véase anexo C:

$$I = I_{cm} + A * D^2 \quad \text{Ec. (7)}$$

I : Inercia total [cm^4]

I_{cm} : Inercia de cada figura simple con respecto a su centro de gravedad [cm^4]

A : Área de cada figura simple [cm^2]

D : Distancia entre el centroide de la figura total y el centroide de cada figura simple [cm]

3.5.4 Cálculo distancia máxima entre centros de apoyo para vigas de piso y costaneras.

Para el cálculo de la distancia máxima entre apoyos, se utiliza la ecuación 8 que es para cargas distribuidas. El uso de esta fórmula se debe a que el peso propio y la sobrecarga son distribuidas. Cabe destacar que el MOE promedio ocupado en la ecuación 8 se obtuvo del ensayo a flexión con cargas puntuales.

$$l = \sqrt[4]{\frac{\Delta_{max} * 384 * E * I}{5 * q}} \quad \text{Ec. (8)}$$

l : Luz entre apoyos [cm]

E : MOE promedio, obtenido experimentalmente [kg/cm^2]

Δ_{max} : Se especifica en la norma Nch 1198 (2006) tanto para piso como para costaneras

q : Sobrecarga (SC), peso propio (PP) y viento (W).

3.5.5 Cálculo de la carga de viento dependiendo de la inclinación.

Para el cálculo de la carga de viento con grado de inclinación, se utiliza la ecuación 9 descrita en la normativa Nch 432 (1971):

$$q * (1,2 * \text{sen}\theta - 0,4) \quad \text{Ec. (9)}$$

CAPÍTULO 4: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

En este capítulo se entregan y analizan los cálculos realizados (MOR, MOE y TLP). Además se registran y clasifican los distintos tipos de fallas.

4.1 Módulo de elasticidad

Los valores de MOE para los cuatro tipos de vigas y sus estadígrafos básicos se encuentran en la tabla 2, para calcular el MOE se utilizó la ecuación 1. Los datos de carga versus desplazamiento para cada una de las vigas se encuentran en el anexo D, además en el anexo E se encuentran los gráficos de carga versus desplazamiento con sus respectivas regresiones lineales que permiten determinar la carga en el límite de proporcionalidad, a través de la ubicación del último punto que alcanza a tocar la línea de regresión. El punto mencionado anteriormente permite visualizar tanto el rango elástico como el plástico, es por esto que se promedian los valores de MOE que poseen una carga inferior a la carga del límite de proporcionalidad para cada una de las vigas. Véase Anexo F, Cálculo de MOE.

Tabla 2. Módulo de elasticidad y estadígrafos básicos

Módulo de elasticidad [kg/cm ²]				
N°	V2T-150-5000	V2T-120-5000	V2T-150-3200	V2T-120-3200
1	81398,31	107132,21	51201,75	82260,16
2	103196,37	143887,96	64255,89	81987,05
3	95004,63	114390,16	72114,92	77197,10
4	82441,34	122620,97	55818,29	80121,24
5	122961,75	125877,20	64206,93	90652,53
Media por tipo	97000,48	122781,70	61519,56	82443,62
Media total	90936,34			
Desv. estándar	25392,20			
Valor máximo	143887,96			
Valor mínimo	51201,75			

Al analizar la tabla 2, se puede apreciar que para las vigas de 5 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] el MOE promedio decae en 21%, en el caso de las vigas de 3,2 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] el MOE promedio decae en 25,37%.

Para las vigas de 150 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros, el MOE promedio aumenta en 36,57%, en el caso de las vigas de 120 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros ocurre que el MOE promedio aumenta en 32,85%.

Es necesario destacar que estas diferencias de MOE, se pueden deber a:

✓ *Errores en la toma de datos de carga y deformación.*

Siempre existe la probabilidad de error en la toma de datos, cuando estos se registran de forma manual.

✓ *Error por diferencia en la calidad de la madera y por problemas constructivos.*

La diferencia de la calidad de la madera se produce, porque en la empresa no existe personal calificado para llevar a cabo la clasificación visual.

Los errores constructivos se producen por no aplicar la presión y la cantidad de adhesivo necesaria en las uniones.

✓ *Error por efecto de los soportes.*

Los soportes que evitan que las vigas se giren pueden provocar, que estos elementos no se desplacen libremente cuando se le aplica la carga.

Para obtener el promedio de MOE, fue necesario evaluar la existencia de datos atípicos, a través del diagrama de caja y bigotes, Véase anexo G (punto G1). Al no existir datos atípicos, el promedio de MOE se obtiene de las 20 vigas ensayadas.

4.2 Tensión en el límite de proporcionalidad

Los valores de TLP para los cuatro tipos de vigas y sus estadígrafos básicos se encuentran en la tabla 3, las ecuaciones 2 y 3 son utilizadas para el cálculo de la TLP.

Véase anexo E y H respectivamente, Información de carga en el límite de proporcionalidad y tablas de cálculo de TLP.

Tabla 3. Tensión en el límite de proporcionalidad y estadígrafos básicos

Tensión en el límite de proporcionalidad [kg/cm ²]				
N°	V2T-150-5000	V2T-120-5000	V2T-150-3200	V2T-120-3200
1	277,55	285,69	131,69	313,64
2	77,15	393,29	152,70	178,30
3	77,15	231,88	278,72	76,80
4	244,15	339,49	131,69	144,47
5	277,55	70,48	236,71	245,97
Media por tipo	190,71	264,17	186,30	191,84
Media total	208,25			
Desv. estándar	96,69			
Valor máximo	393,29			
Valor mínimo	70,48			

Al analizar la tabla 3, se puede apreciar que para las vigas de 5 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] la TLP promedio decae en un 27,81%, en el caso de las vigas de 3,2 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] la TLP promedio decae en un 2,89%, lo anteriormente mencionado, indica que al aumentar la altura se produce una disminución de la TLP.

Para las vigas de 150 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros la TLP promedio aumenta en 3,2%, en el caso de las vigas de 120 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros la TLP promedio aumenta en un 27,39%, esto permite afirmar que con un aumento en el largo se produce un aumento de la TLP.

El total de las vigas sufren fallas frágiles, ya que estas a lo más se encuentran justo en el límite para pasar al rango plástico, cuando se produce la falla repentina. En estos casos la carga en el límite de proporcionalidad es muy similar a la carga de rotura, es por esto que los errores que pueden marcar la diferencia existente en la TLP, son la diversidad en la calidad de la madera y los problemas constructivos, puesto que estos parámetros son determinantes a la hora de evaluar la resistencia de una viga.

El promedio de la TLP se obtuvo del total de las vigas ensayadas, ya que no existen datos atípicos según la evaluación realizada a través del diagrama de caja y bigotes, véase *anexo G (punto G2)*.

4.3 Módulo de rotura

El resumen de los valores de MOR para los cuatro tipos de vigas, se encuentra en la tabla 4 con sus respectivos estadígrafos básicos, las ecuaciones 4 y 5 son necesarias para el cálculo del MOR. Véase anexo I tablas de cálculo de MOR.

Tabla 4. Módulo de rotura y estadígrafos básicos

Módulo de rotura [kg/cm ²]				
N°	V2T-150-5000	V2T-120-5000	V2T-150-3200	V2T-120-3200
1	292,58	317,97	152,70	377,93
2	204,07	430,95	192,61	205,37
3	108,88	274,93	293,42	161,39
4	274,21	355,63	152,70	168,15
5	335,00	102,76	257,72	251,72
Media por tipo	242,95	296,45	209,83	232,91
Media total	245,53			
Desv. estándar	91,52			
Valor máximo	430,95			
Valor mínimo	102,76			

Al analizar la tabla 4 se visualiza que para las vigas de 5 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] el MOR promedio decae en un 18,05%, mientras que para el caso de las vigas de 3,2 metros de largo, al aumentar la altura de 120 a 150 [mm] el MOR promedio decae en 9,91%, esto quiere decir que al mantener fijo el largo y aumentar la altura el MOR sufre una disminución.

En el caso de las vigas de 150 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros, el MOR promedio aumenta en 13,64% y finalmente para las vigas de 120 [mm] de altura, al aumentar el largo de 3,2 a 5 metros, el MOR promedio aumenta en 21,44%, esto indica que al mantener fijo la altura y aumentar el largo se produce un aumento del MOR.

La diferencia en los valores de MOR, se deben a la diversidad de la calidad de la madera y a los problemas constructivos, puesto que como se explicó en el punto 4,2 la carga de rotura es muy variable en cada una de las vigas que se sometieron al ensayo a flexión.

El promedio del MOR, se obtuvo de las 20 vigas ensayadas, considerando que la evaluación con el diagrama de caja y bigotes afirma que no existen datos atípicos, Véase anexo G (punto G3).

4.4 Cargas máximas

En la tabla 5 se muestran las cargas máximas para cada una de las vigas, con sus respectivos estadígrafos básicos. Véase anexo J Gráficos con cargas máximas.

Tabla 5. Cargas máximas y estadígrafos básicos

Cargas máximas [kg]				
N°	V2T-150-5000	V2T-120-5000	V2T-150-3200	V2T-120-3200
1	438,00	295,50	363,50	558,50
2	305,50	400,50	458,50	303,50
3	163,00	255,50	698,50	238,50
4	410,50	330,50	363,50	248,50
5	501,50	95,50	613,50	372,00
Media por tipo	363,70	275,50	499,50	344,20
Desv. estándar	132,63	113,85	151,05	131,04
Valor máximo	501,50	400,50	698,50	558,50
Valor mínimo	163,00	95,50	363,50	238,50

En esta tabla se aprecia que las vigas de mayor altura para un mismo largo poseen mayor resistencia. Al comparar la viga V2T-120-5000 (275,50 [kgf]) con la viga V2T-150-5000 (363,70 [kgf]) se visualiza un aumento de la resistencia de 24,26%, en el caso de la comparación de la viga V2T-120-3200 (344,20 [kgf]) con la viga V2T-150-3200 (499,50 [kgf]), se aprecia un aumento de la resistencia en 31,09%. También se desprende que las vigas de menor luz de apoyo para una misma altura poseen una mayor resistencia. Al analizar la viga V2T-150-5000 con la viga V2T-150-3200 la resistencia aumenta en 27,18%, en el caso del análisis de la viga V2T-120-5000 con la viga V2T-120-3200 la resistencia aumenta en 19,95%.

4.5 Tipos de fallas

En este apartado se mencionan los distintos tipos de fallas tanto primarias como secundarias. Las fallas primarias son las que se producen en conjunto con una disminución de la carga en el medidor electrónico, y las fallas secundarias son las que se producen por aumento de las tensiones en otros elementos constituyentes de la viga luego de producirse la falla principal. Véase Anexo K imágenes de fallas.

✓ *Falla por defecto de origen natural (A).*

Se considera como falla por defecto de origen natural, cualquier falla que se lleve a cabo por efecto de un nudo.

✓ *Falla de la unión finger-joint del ala inferior (B).*

Se produce, porque la unión finger-joint del ala superior no es capaz de soportar los esfuerzos de tracción.

✓ *Falla por fractura total de la viga (C).*

Se produce, cuando la viga se fractura completamente.

✓ *Falla por desprendimiento del alma (D).*

Esta falla se produce, cuando el alma se desprende del ala superior o inferior causando el colapso de la viga.

✓ *Falla por fractura total de la viga antecedido por el fenómeno de alabeo (E).*

Se produce por fractura total, pero la antecede el fenómeno denominado alabeo que por definición es el giro de sus bordes en direcciones opuestas.

✓ *Falla de la unión finger-joint del ala superior antecedido por el fenómeno de alabeo (F).*

Se produce por el colapso de la unión finger-joint del ala superior, pero la antecede el fenómeno denominado alabeo.

✓ *Falla de la unión finger-joint del ala superior (G).*

Se produce por el colapso de la unión finger-joint del ala superior.

4.5.1 Fallas primarias.

En la figura 4 se visualiza el gráfico circular que indica el porcentaje de ocurrencia de las fallas primarias.

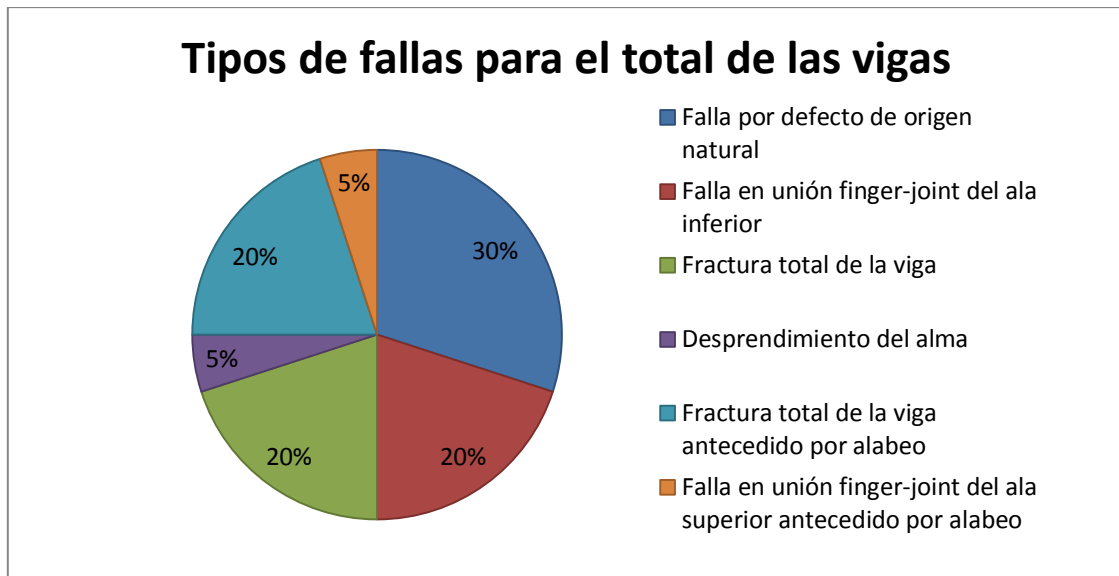


Figura 4. Fallas primarias para el total de las vigas.

Un 60% de las fallas ocurren por procesos constructivos, considerando las siguientes fallas: por defecto de origen natural, de unión finger-joint del ala inferior, de desprendimiento del alma y de unión finger-joint del ala superior antecedido por alabeo. La falla en la unión finger-joint del ala inferior (20%), es un problema esperado, porque la flexión provoca un gran esfuerzo de tracción en el ala inferior por efecto de los mayores momentos flectores que se producen en los cuartos centrales.

El 40 % restante de las fallas se producen por fractura total de las vigas.

En la figura 5 se muestran un gráfico con la frecuencia de falla por tipo de vigas

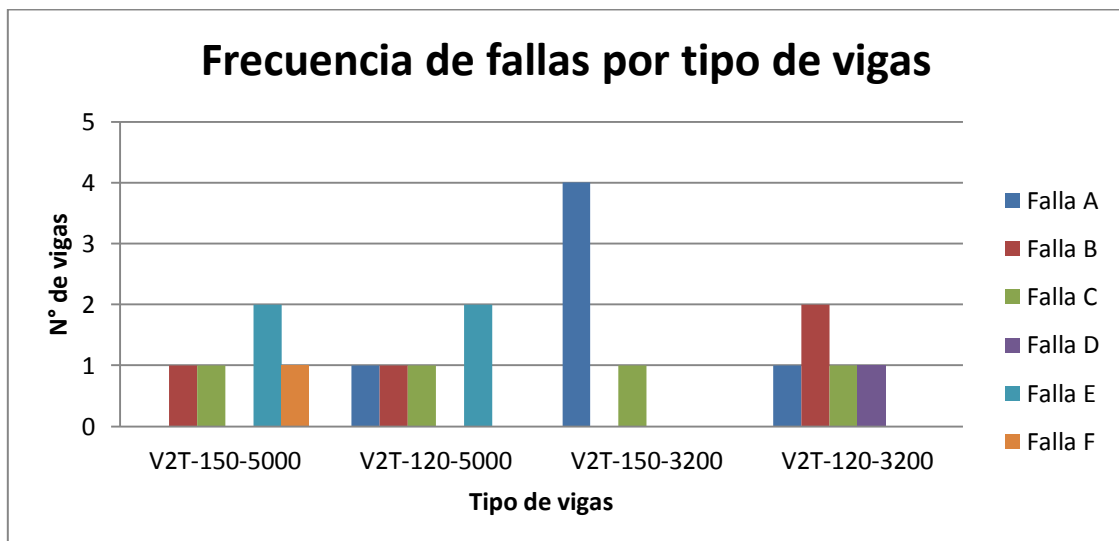


Figura 5. Fallas primarias por tipo de vigas.

Se puede visualizar que para las vigas de mayor largo se produce el fenómeno de alabeo en gran porcentaje, para la V2T-150-5000 un 60 %, mientras que para la V2T-120-5000 un 40 %.

En el caso de las vigas cortas existe un mayor porcentaje de falla de origen constructivo, considerando las siguientes fallas: defecto de origen natural, unión finger-joint del ala inferior, desprendimiento del alma y unión finger-joint del ala superior antecedido de alabeo. Para la V2T-150-3200 un 80% de las fallas se producen por defectos de origen natural, mientras que para la V2T-120-3200 se tiene un 20 % de falla por defecto de origen natural, un 40% por falla de unión finger-joint del ala inferior y un 20% por falla de desprendimiento del alma.

La falla por fractura total, indica que las tres partes de la viga se encuentran trabajando en conjunto, ya que se llevó a cabo de buena manera el prensado ala-alma-ala y las uniones finger-joint. Para la V2T-150-5000 y la V2T-120-5000, un 60% para cada tipo de vigas poseen fallas por fractura total, mientras que en el caso de la V2T-150-3200 y la V2T-120-3200 existe solo un 20%, para cada tipo de vigas que poseen la falla mencionada anteriormente.

4.5.2 Fallas secundarias.

En la tabla 6 se muestran las fallas primarias y secundarias. Con una X se representan las fallas primarias, mientras que las secundarias se muestran con un si.

Tabla 6. Fallas primarias y secundarias para cada viga

Falla	V2T-150-5000					V2T-120-5000					V2T-150-3200					V2T-120-3200				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A										X	X	X		X	X		X			
B			X					X		si								X	X	
C		X				X							X			X				
D											si	si								X
E	X			X			X		X											
F					X															
G			si															si		

Evaluando el total de las vigas, un 75% solo posee falla primaria, del 25 % restante que poseen fallas secundarias se tiene que un 10% sufre falla de la unión finger-joint del ala superior, un 10% sufre desprendimiento del alma y un 5% falla por la unión finger-joint del ala superior. La falla de unión finger-joint del ala superior es la menos recurrente, se produce en un caso como primaria, y en dos casos como secundaria, lo que indica que las uniones dentadas se pueden colocar en el ala superior, ya que estas solo sufren compresión y no tienden a fallar por lo que no afectan la resistencia de las vigas.

CAPÍTULO 5: TABLAS DE DISEÑO PARA VIGAS DE PISO Y COSTANERAS

En este capítulo se analizan las separaciones entre apoyos, para vigas de piso y costaneras de techo, utilizando el promedio de los MOE de todas las vigas ensayadas y considerando la normativa vigente (Nch 1198 y Nch 1537).

5.1 Distancia máxima entre centros de apoyo para vigas de piso

La tabla 7 y 8 indican distancias máximas entre apoyos para vigas de piso tradicional y acústico respectivamente. Estas distancias se calculan con la ecuación 8, para ello se requiere:

- ✓ Del MOE que tiene un valor de 90936,34 [kg/cm²], este valor es el promedio de los valores de MOE de las 20 vigas ensayadas.
- ✓ De la inercia que para la V2T-150 posee un valor de 1361,36 [cm⁴] y para la V2T-120 tiene un valor de 676,09 [cm⁴].
- ✓ Del desplazamiento máximo que es L/300 según la Nch 1198 (2006).
- ✓ De la sobrecarga, que es obtenida de la Nch 1537 (2009), para uso general de una vivienda y su valor es de 200 [kg/m²].
- ✓ Del peso propio que se obtiene del libro Arauco (2007). Para la tabla 7 se utiliza un piso tradicional (tableros de terciado) de 61,2 [kg/m²], mientras que para la tabla 8 se utiliza un piso acústico (tableros de terciado más una loseta de hormigón de 4 [cm]) de 153,06 [kg/cm²].

En ambos casos (piso tradicional y acústico), no es necesario realizar combinaciones de carga, puesto que lo más desfavorable es la suma del peso propio mas la sobrecarga.

Tabla 7. Distancia máxima entre centros de apoyo considerando piso tradicional

Piso tradicional 61,2[kg/m ²] + sobrecarga 200 [kg/m ²]				
Tipo de viga	Separación entre vigas [m]			
	0,31	0,41	0,51	0,61
	Distancia máxima entre apoyos			
V2T-150	3,40	3,09	2,88	2,71
V2T-120	2,69	2,45	2,28	2,15

Tabla 8. Distancia máxima entre centros de apoyo considerando piso acústico

Piso acústico 153,06[kg/m ²] + sobrecarga 200 [kg/m ²]				
Tipo de viga	Separación entre vigas [m]			
	0,31	0,41	0,51	0,61
	Distancia máxima entre apoyos			
V2T-150	3,07	2,80	2,60	2,45
V2T-120	2,43	2,22	2,06	1,94

De ambas tablas se puede deducir que para las separaciones entre vigas dadas, no se logra obtener distancias entre centros de apoyo cercanas a los 5 metros como era requerido.

En la ecuación 8, se aprecia que la inercia y el MOE son directamente proporcionales a la distancia entre apoyos. De acuerdo a esto, para alcanzar mayores luces se pueden fabricar vigas de mayor sección (aumento de la inercia) y/o también se puede mejorar la calidad de la madera (aumento del MOE).

5.2 Distancia máxima entre centros de apoyo para costaneras de techo

La tabla 9 muestra las distancias máximas entre apoyos para costaneras dispuestas de forma horizontal. Estas distancias se calculan con la ecuación 8, para ello se requiere:

- ✓ Del MOE y las inercias que son las mismas presentadas para el cálculo de la distancia máxima entre apoyos para vigas de piso.
- ✓ Del desplazamiento máximo, que es $L/200$ según la Nch 1198 (2006).
- ✓ De la sobrecarga, que es obtenida de la Nch 1537 (2009), para techos con acceso a mantención y su valor es de 100 [kg/m²].

- ✓ Del peso propio del techo que es obtenido del libro Arauco (2007) y su valor es de 61,2 [kg/m²].

Se debe evaluar cuál es el efecto del viento en las costaneras, para ello es necesario indicar una altura aproximada (7 [m]). A través de esta altura se obtiene la presión básica de la Nch 432 (1971), y se ocupa la ecuación 9 para determinar la carga del viento (presión o succión) para las costaneras horizontales, véase *anexo L*. Se utiliza la Nch 3171 (2010) para realizar las combinaciones de carga, que se encuentran en el *anexo L*.

Tabla 9. Distancia máxima entre centros de apoyo para costaneras horizontales

Peso propio techumbre 61,2[kg/m ²] + sobrecarga 100 [kg/m ²]								
Tipo de costanera	Separación entre costaneras [m]							
	0,31	0,41	0,51	0,61	0,81	1,01	1,21	1,51
	Distancia máxima entre apoyos							
V2T-150	4,59	4,18	3,89	3,66	3,33	3,10	2,91	2,71
V2T-120	3,63	3,31	3,08	2,90	2,64	2,45	2,31	2,14

De la tabla anterior se puede apreciar que para el caso de las costaneras de altura 150 [mm] con separación de 0,31 [m], se alcanza la máxima distancia entre apoyos (4,5 metros), la cual es menor a los 5 metros requeridos.

Para cumplir con la distancia entre apoyos requerida (5 metros), se debe realizar lo descrito en el punto 5.1 del presente proyecto, es decir agrandar la sección de las vigas y/o mejorar la calidad de la madera utilizada en la fabricación de las vigas doble T.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la realización del ensayo a flexión de cada una de las vigas y sus respectivos cálculos se puede concluir lo siguiente:

En cuanto al MOE, MOR y TLP se obtuvieron promedios de 90936,34 [kg/cm²], 245,33 [kg/cm²] y 208,25 [kg/cm²] respectivamente con una confiabilidad del 61,5%. Cabe destacar que tanto para el MOE, MOR y TLP se promediaron los valores de las 20 vigas, ya que a pesar de la dispersión existente en los datos, según el diagrama de caja y bigotes, no se presentaron valores atípicos.

Estas vigas poseen fallas del tipo frágiles, es decir que fallan trabajando en el rango elástico o recién comenzando el rango plástico, por ello es que existe similitud entre las cargas de tensión en el límite de proporcionalidad y las cargas de rotura.

Las fallas más recurrentes son del tipo constructivas en un 60%, estas se separan en fallas por defecto natural 30%, por unión finger-joint del ala inferior 20%, por desprendimiento del alma 5%, por unión finger-joint del ala superior antecedido por alabeo 5%.

En el caso de realizar la clasificación visual o mecánica de la madera por personal calificado, o adquirir la madera ya clasificada, se lograría disminuir las fallas por defecto de origen natural.

Es necesario examinar el funcionamiento de la máquina finger-joint, tanto de la fresadora, encoladora y la prensa. De esta manera se puede realizar un buen dentado de los trozos de madera, un encolado con la cantidad de adhesivo especificada y un prensado con la presión establecida, logrando minimizar las fallas de las uniones dentadas.

Además al realizar la unión ala-alma-ala se debe asegurar que la presión que se lleva a cabo a través de la prensa de bancales corresponde a la especificada, de manera de evitar que se produzca el desprendimiento del alma.

Lo anteriormente mencionado permite mejorar la calidad de las vigas, logrando un aumento del MOE, MOR y TLP.

El 40% restante de las vigas se encuentran trabajando perfectamente en conjunto (ala-alma-ala), por lo que se tiende a producir una falla por fractura total, lo que mejora notablemente la resistencia de las vigas.

En las vigas de piso y las costaneras de techo, se alcanzan distancias entre apoyos menores a la requerida (5 metros). En el caso de las costaneras de altura 150 [mm] con separación de 0,31 [m], se alcanza la máxima longitud entre apoyos (4,5 metros).

El MOE y la inercia son directamente proporcionales a la distancia entre centros de apoyo. Entonces para alcanzar mayores luces, es necesario producir vigas con alturas mayores a 150 [mm] (aumento de la inercia), y/o mejorar la calidad de las vigas (aumento del MOE).

Además se recomienda que:

- ✓ Si se llevan a cabo uniones finger-joint en los cuartos centrales, es necesario que estas uniones queden en el ala superior, puesto que, si quedan en el ala inferior las vigas tendrán una menor resistencia por efecto de una probable falla provocada por el esfuerzo de tracción.
- ✓ La unión finger-joint nunca puede coincidir con el centro de la viga, ya que en el centro se producen los mayores esfuerzos de tracción y compresión.
- ✓ Para certificar las vigas y comercializarlas, es necesario realizar un análisis exhaustivo a través de la norma ASTM 5055 (2000)

REFERENCIAS

- ✓ Aranda, C. (2004). “Evaluación del módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR) a vigas laminadas rectas de eucaliptus nitens y pino radiata (Pinus radiata D. DIN)”. Proyecto de título ingeniería civil en industrias forestales. Universidad del Bío-Bío.
- ✓ Arauco. (2007). Ingeniería y construcción en madera. Santiago, Chile
- ✓ ASTM INTERNACIONAL, ASTM 5055 of 2000, Standard specification for establishing and monitoring structural capacities of prefabricated Wood i-joist. West Conshohocken.
- ✓ Casado, M. Madera laminada y nuevos productos transformados de la madera de uso estructural. 2012. https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/428/51970/1/Documento5.pdf. Acceso 25 de enero 2013.
- ✓ CORMA. La construcción de viviendas en madera: Entramado horizontal, capítulo 9. 2007 http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_9-entram_hz.pdf. Acceso 5 de noviembre de 2012.
- ✓ INN, Nch 432 of 1971, Calculo de la acción del viento sobre las construcciones. Santiago.
- ✓ INN, Nch 803 of 2003, Elementos de construcción – Paneles - Ensayo de flexión. Santiago.
- ✓ INN, Nch 987 of 1986, Madera – Determinación de las propiedades mecánicas – Ensayo de flexión estática. Santiago.
- ✓ INN, Nch 992 of 1972, Madera – Defectos a considerar en la clasificación, terminología y método de medición. Santiago.
- ✓ INN, Nch 1198 of 2006, Madera – Construcciones en madera – Cálculo. Santiago.

- ✓ INN, Nch 1537 of 2009, Diseño estructural – Cargas permanentes y cargas de uso. Santiago.
- ✓ INN, Nch 3171 of 2010, Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de carga. Santiago.
- ✓ Leiva, L. (2007). Vigas compuestas de madera de sección doble T y sección cajón para uso de viviendas. Revista tecnología y construcción, 23(3), 47-56.
- ✓ Louisiana Pacific. I-joist; Vigas 2T. 2007 [http://lpchile.cl/index.php?pag_id=39 & len_id=1](http://lpchile.cl/index.php?pag_id=39&len_id=1). Acceso el 10 de octubre de 2012.
- ✓ Messer, O. (2007). “Comportamiento en flexión de vigas laminadas que incorporan pino Oregón”. Proyecto de título Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío.
- ✓ Morales, M. (2001). “Diagnóstico de los defectos presentes en la madera en el proceso finger-joint”. Proyecto de título Ingeniería ejecución en maderas. Universidad del Bío-Bío.
- ✓ Oxiquim. (2006). Ficha de aplicación del adelite 6238. Concepción, Chile.
- ✓ Pérez, V. (1996). Estudio teórico – Experimental de vigas de sección transversal compuesta, fabricados con madera y contrachapado estructural. Revista INFOR, 10 (2), 1-29.
- ✓ Quezada, C. (2007). Potencia estadística, sensibilidad y tamaño de efecto: ¿un nuevo canon para la investigación?. Revista ONOMÁZEIN, 16 (2), 159-170.
- ✓ Salas, T. Construcción en madera. 2005 [http://www.slideshare.net/Nonnal/ construcción-en-madera-clase-n13](http://www.slideshare.net/Nonnal/construcción-en-madera-clase-n13). Acceso el 15 de octubre de 2012.

ANEXOS

ANEXO A: IMÁGENES Y DESCRIPCIÓN DEL MARCO DE CARGA.

Para identificar de forma simple el equipo utilizado, se realiza el presente anexo en donde se muestran imágenes y una breve descripción del marco de carga y sus respectivos componentes para llevar a cabo el ensayo a flexión de las vigas doble T.

A.1 Marco de carga.

El marco de carga está compuesto por 4 vigas tipo H, con 4 hilos de 30 [mm] de diámetro. En este equipo se utilizaron 4 soportes de manera de poder evitar que las vigas se vuelquen.



Figura A1: Marco de carga.

A.2 Bomba hidráulica.

La bomba hidráulica permite generar hasta una carga de 5 toneladas.



Figura A2: Bomba hidráulica.

A.3 Celda de carga y medidor electrónico.

El medidor electrónico, se encuentra conectado a la celda de carga que trabaja en conjunto con la bomba hidráulica, ya que, se encuentra unida al pistón hidráulico como se muestra en las siguientes dos figuras.



Figura A3: Celda de carga y medidor electrónico.



Figura A4: Celda de carga unida al pistón hidráulico.

A.4 Barra metálica, rodillo de transmisión de carga y medidores de deformación.

El pistón hidráulico ejerce la carga sobre la barra metálica, que posteriormente la distribuye en dos cargas puntuales a través de dos rodillos como se muestra en la figura 5. Se utilizaron dos medidores de desplazamiento para medir las deflexiones, estas se encuentran al centro de la viga, según lo indicado en la normativa Nch 803 (2003).



Figura A5: Barra metálica y rodillo de transmisión de carga.



Figura A6: Medidores de desplazamiento.

ANEXO B: MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LAS VIGAS DOBLE T.

Para construir las vigas doble T es necesario seguir un proceso riguroso, el cual se describe brevemente y se muestra en las siguientes imágenes:

B.1 Proceso de aserrado.

Los troncos llegan a la empresa Franver, en donde son aserrados en múltiplos de la dimensión final para luego pasar al siguiente proceso.



Figura B1: Troncos para realizar aserrado.



Figura B2: Proceso de aserrado.

B.2 Cámara de pre-secado y secado.

En la cámara de pre-secado se aplica viento a una velocidad de 12 [m/s] con una temperatura máxima de 20 [°C], hasta alcanzar una humedad del 30%. Luego en la cámara de secado se aplica viento a una menor velocidad de aproximadamente 4 [m/s], con una temperatura de alrededor de 30 [°C], hasta alcanzar una humedad entre 8 a 12%.



Figura B3: Cámara de pre-secado.



Figura B4: Cámara de secado.

B.3 Dimensionamiento.

Las alas y almas se dimensionan en su ancho y alto a través de una sierra canteadora.



Figura B5: Dimensionamiento con sierra canteadora (lado derecho).



Figura B6: Dimensionamiento con sierra canteadora (frontal).

B.4 Trozadora.

En esta etapa del proceso se eliminan algunos defectos como nudos muertos, acebolladuras, rajaduras, grietas y pudrición. Luego los trozos de maderas de distintas dimensiones son apilados para pasar a la siguiente fase del proceso.



Figura B7: Trozadora.



Figura B8: Trozos de madera apilados.

B.5 Fresado y encolado (finger-joint).

La máquina posee un carro donde entra la madera y luego se rigidiza tanto horizontal como verticalmente, el carro se mueve hasta llegar a la fresadora en donde se le realiza el dentado a cada trozo de madera. Posteriormente a ello se pasa por un rodillo encolador que aplica el adhesivo al dentado de la madera.



Figura B9: Fresadora y encoladora.



Figura B10: Dentado.

B.6 Prensado (finger-joint).

Se van introduciendo los trozos fresados y encolados, esta máquina posee un pateador de neumático (arrastre) y posee un equipo hidráulico interno que sujeta la pieza verticalmente para que luego un cilindro ejerza una presión horizontal que une los dientes, un presostato pone fin a la presión, cuando esta alcanza los 80 [kg/cm²]. Luego de repetir el proceso y llegar al largo requerido se acciona una cierra tipo péndulo que cortara la madera en el largo programado.



Figura B11: Grupo prensa de la finger-joint.



Figura B12: Unión finger-joint finalizada.

B.7 Cepillado (moldurera).

En esta etapa se cepillan las 4 caras de las alas y se les realiza una ranura que se ve en la figura B14. También se cepillan las 4 caras del alma y se dejan a la medida de la ranura que se llevó a cabo en las alas.



Figura B13: Moldurera para cepillar las alas y almas.

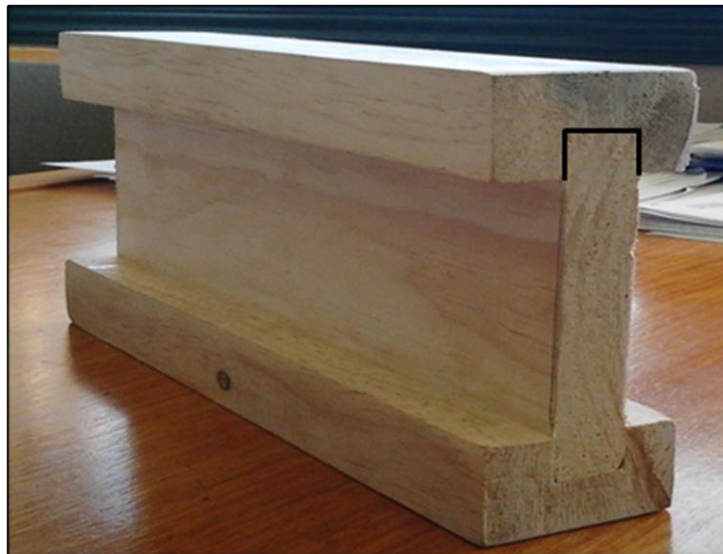


Figura B14: Ranura realizada al ala.

B.8 Prensado ala-alma-ala.

Finalmente en la prensa de bancales se lleva a cabo la unión de las tres partes que conforman a la viga compuesta, aplicando una presión de 10 [kg/cm²] por 12 horas aproximadamente, para que fragüe el adhesivo.



Figura B15: Aplicación del adhesivo.



Figura B16: Prensa de bancales.

ANEXO C: CÁLCULO DE CONFIABILIDAD CON PROGRAMA GPOWER.

Para determinar la confiabilidad de la muestra se utilizó el método de Cohen. Lo primero que se visualizó son las variables (factores), es decir la sección y el largo.

Factor A \longrightarrow 2 Secciones, 2 niveles (n)

Factor B \longrightarrow 2 Largos, 2 niveles (n)

En la siguiente tabla se muestra el factor o variable, grado de libertad y el número de grupos.

Tabla C1: grados de libertad y niveles para cada factor.

Factor	Grados de libertad (n-1)	Niveles (n)
A	1	4
B	1	4
AxB	1	4

Se tienen dos hipótesis, la nula (H_0) y la alternativa (H_1). La hipótesis nula consiste en que los promedios de MOE, MOR y TLP son distintos para los 4 tipos de vigas, mientras que la hipótesis alternativa consiste en que los promedios de MOE, MOR y TLP son iguales para los 4 tipos de vigas.

Al programa GPower se ingresa el tamaño de efecto, α (error tipo 1), β (error tipo 2), número de grupos y grados de libertad.

✓ *Tamaño de efecto (f^2)*

Es un indicador que permite hacerse una idea de cuán distintos son dos grupos en una o más variables medidas. Mientras mayor es el tamaño de efecto se obtiene una menor cantidad de ensayos a realizar (Quezada, 2007). El valor empleado es 0,4, el cual es uno de los mayores valores utilizables.

✓ *Error tipo 1 (α)*

Se comete al afirmar que la hipótesis nula es falsa cuando en realidad es verdadera. Este tipo de error es el más grave y peligroso, es el que más atención recibe y más se controla (Quezada, 2007). El valor utilizado es 0,15.

✓ *Error tipo 2 (β)*

Se comete cuando se acepta una hipótesis nula que en realidad es falsa, esto se puede producir generalmente por un tamaño muestral bajo (Quezada, 2007). El valor utilizado es 0,4.

✓ *Grados de libertad*

Es el valor del nivel (n) menos uno, es decir en este caso los grados de libertad son 1.

✓ *Número de grupos*

Se obtiene identificando la cantidad de veces que aparece una variable en los cuatro tipos de vigas, por ejemplo la variable largo (3,2 y 5 [m]) aparece en los cuatro tipos de vigas por lo tanto son cuatro grupos.

El programa GPower entrega la confiabilidad o potencia, que en este caso posee un valor de 61,5% para una cantidad de 20 muestras. La potencia o confiabilidad es el porcentaje de rechazo la hipótesis nula, cuando esta es falsa.

En el siguiente gráfico se muestra el número de muestras en el eje abscisas, mientras que en el eje de las ordenadas se encuentra la confiabilidad. Existen distintas líneas que representan el tamaño de efecto, mientras ese valor es mayor, para una cantidad específica de muestras, se obtiene una mayor confiabilidad. Cabe destacar que con un tamaño de efecto de 0,4 y una cantidad de 60 vigas se obtiene un 95% de confiabilidad.

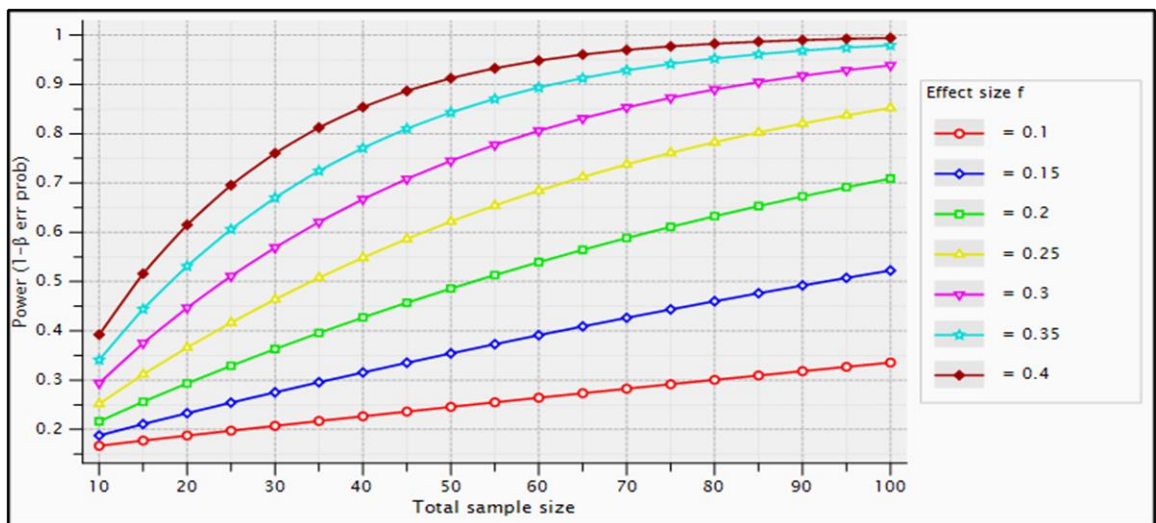


Figura C1: Gráfico número de muestras v/s confiabilidad.

(Fuente: Software GPower)

ANEXO D: INERCIAS PARA V2T-150 Y V2T-120.

En el presente anexo, se muestran tablas con los cálculos de las inercias a través del teorema de Steiner, considerando tres figuras rectangulares Ala superior-Alma-ala inferior.

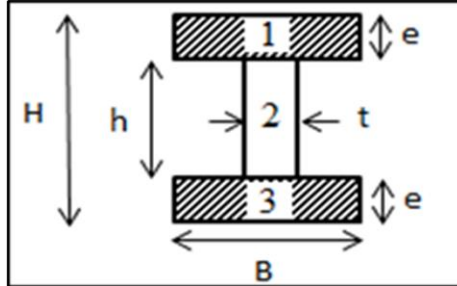


Figura D1: Áreas rectangulares (ala superior, alma y ala inferior).

D.1 V2T-150.

Tabla D1: Dimensiones de la V2T-150.

V2T-150-5000 ; V2T-150-3200		
ancho ala sup.	55	mm
alto ala sup.	32	mm
ancho alma	20	mm
alto alma	120	mm
alto alma real	86	mm
ancho ala inf.	55	mm
alto ala inf.	32	mm

Tabla D2: Inercias para las tres figuras rectangulares de la V2T-150.

	Área(mm ²)	y(mm)	A*y	I local (mm ⁴)	A*d ²	I cg
1	1760	16	28160	150186,67	6126560	6276746,67
2	1720	75	129000	1060093,33	0	1060093,33
3	1760	134	235840	150186,67	6126560	6276746,67

Tabla D3: Inercia total de la V2T-150.

I total	1361,36	cm ⁴
---------	---------	-----------------

D.2 V2T-120.

Tabla D4: Dimensiones de la V2T-120.

V2T-150-5000 ; V2T-150-3200		
ancho ala sup	50	mm
alto ala sup	32	mm
ancho alma	20	mm
alto alma	90	mm
alto alma real	56	mm
ancho ala inf	50	mm
alto ala inf	32	mm

Tabla D5: Inercias para las tres figuras rectangulares de la V2T-120.

	Área(mm ²)	y(mm)	A*y	I local (mm ²)	A*d ²	I cg
1	1600	16	25600	136533,33	3097600	3234133,33
2	1120	60	67200	292693,33	0	292693,33
3	1600	104	166400	136533,33	3097600	3234133,33

Tabla D6: Inercia total de la V2T-120.

I total	676,10	cm ⁴
---------	--------	-----------------

ANEXO E: VALORES DE CARGA VERSUS DESPLAZAMIENTO.

En el presente anexo, se muestran tablas con los valores de carga versus desplazamiento obtenidos del ensayo a flexión para cada una de las vigas

E.1 V2T-150-5000.

E.1.1 Viga 1.

En la tabla E1 se encuentra la carga aplicada a incrementos de 100 [kgf] con sus respectivos desplazamientos a ambos lados de la viga (D1 y D2), además se obtiene un desplazamiento promedio. Cabe destacar que en la tabla E1, no se consideró el peso del equipo (31 kgf) y tampoco la deformación (5 mm) que este provocaba, es por ello, que en la tabla E2 se muestra la carga base y desplazamiento base, que permite generar la tabla E3 que posee las cargas y desplazamientos finales. El procedimiento para obtener las tablas finales de las 5 vigas V2T-150-5000 es el mismo.

Tabla E1: Cargas y desplazamientos tarados.

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom.
100	12,34	9,76	11,05
200	24,81	24,55	24,68
300	41,58	40,35	40,97
400	54,55	54,60	54,58
500	67,11	72,08	69,60
600	80,72	90,03	85,38
700	94,57	111,26	102,92
800	108,47	132,56	120,52

Tabla E3: Cargas y desplazamientos finales.

Carga (kgf)	D prom.
31	5,00
131	16,05
231	29,68
331	45,97
431	59,58
531	74,60
631	90,38
731	107,92
831	125,52

Tabla E2: Carga base y desplazamiento base.

Carga base	31	[kgf]
Desp. base	5	[mm]

E.1.2 Viga 2.

Tabla E4: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-5000 (2).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	13,94	7,75	10,85
200	22,93	23,84	23,39
300	41,06	41,35	41,21
400	59,47	58,32	58,90
500	77,41	75,43	76,42

Tabla E5: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-5000 (2).

Carga (kgf)	D prom.
31	5,00
131	15,85
231	28,39
331	46,21
431	63,90
531	81,42

E.1.3 Viga 3

Tabla E6: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-5000 (3).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	9,54	9,87	9,71
200	27,96	27,64	27,80

Tabla E7: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-5000 (3).

Carga (kgf)	D prom.
31	5,00
131	14,71
231	32,80

E.1.4 Viga 4

Tabla E8: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-5000 (4).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	10,97	12,45	11,71
200	23,44	27,24	25,34
300	40,19	43,01	41,60
400	53,13	57,23	55,18
500	65,71	74,70	70,21
600	79,32	92,65	85,99
700	93,17	113,91	103,54

Tabla E9: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-5000 (4).

Carga (kgf)	D prom.
31	5,00
131	16,71
231	30,34
331	46,60
431	60,18
531	75,21
631	90,99
731	108,54

E.1.5 Viga 5

Tabla E10: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-5000 (5).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	7,29	6,83	7,06
200	16,95	17,34	17,15
300	25,01	26,96	25,99
400	34,31	37,56	35,94
500	43,96	48,81	46,39
600	53,47	60,12	56,80
700	63,46	72,94	68,20
800	73,39	86,35	79,87
900	86,83	108,88	97,86

Tabla E11: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-5000 (5).

Carga (kgf)	D prom
31	5,00
131	12,06
231	22,15
331	30,99
431	40,94
531	51,39
631	61,80
731	73,20
831	84,87
931	102,86

E.2 V2T-120-5000.

E.2.1 Viga 1.

En la tabla E12 se encuentra la carga aplicada a incrementos de 100 [kgf] con sus respectivos desplazamientos a ambos lados de la viga (D1 y D2), además se obtiene un desplazamiento promedio. Cabe destacar que en la tabla E12, no se consideró el peso del equipo (31 kgf) y tampoco la deformación (7 mm) que este provocaba, es por ello, que en la tabla E13 se muestra la carga base y desplazamiento base, que permite generar la tabla E14 que posee las cargas y desplazamientos finales. El procedimiento para obtener las tablas finales de las 5 vigas V2T-120-5000 es el mismo.

Tabla E12: Cargas y desplazamientos tarados.

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	16,86	18,12	17,49
200	37,89	37,87	37,88
300	62,53	61,03	61,78
400	88,91	86,35	87,63
500	117,34	115,24	116,29

Tabla E14: Cargas y desplazamientos finales.

Carga (kgf)	D prom.
31	7,00
131	24,49
231	44,88
331	68,78
431	94,63
531	123,29

Tabla E13: Carga base y desplazamiento base.

Carga base	31	[kgf]
Desp. base	7	[mm]

E.2.2 Viga 2.

Tabla E15: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-5000 (2).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	20,90	20,13	20,52
200	35,84	34,30	35,07
300	53,11	49,85	51,48
400	70,45	65,73	68,09
500	87,02	81,34	84,18
600	106,31	98,53	102,42
700	124,51	113,02	118,77

Tabla E16: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-5000 (2).

Carga (kgf)	D prom
31	7,00
131	27,52
231	42,07
331	58,48
431	75,09
531	91,18
631	109,42
731	125,77

E.2.3 Viga 3.

Tabla E17: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-5000 (3).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	21,53	23,68	22,61
200	44,73	47,90	46,32
300	63,72	67,34	65,53
400	83,35	87,03	85,19

Tabla E18: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-5000 (3).

Carga (kgf)	D prom
31	7,00
131	29,61
231	53,32
331	72,53
431	92,19

E.2.4 Viga 4.

Tabla E19: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-5000 (4).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	20,30	21,55	20,93
200	39,06	42,82	40,94
300	58,03	63,68	60,86
400	72,40	80,34	76,37
500	89,97	100,58	95,28
600	107,30	134,40	120,85

Tabla E20: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-5000 (4).

Carga (kgf)	D prom
31	7,00
131	27,93
231	47,94
331	67,86
431	83,37
531	102,28
631	127,85

E.2.5 Viga 5.

Tabla E21: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-5000 (5).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	17,95	20,45	19,20

Tabla E22: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-5000 (5).

Carga (kgf)	D prom
31	7,00
131	26,20

E.3 V2T-150-3200.

E.3.1 Viga 1.

En la tabla E23 se encuentra la carga aplicada a incrementos de 100 [kgf] con sus respectivos desplazamientos a ambos lados de la viga (D1 y D2), además se obtiene un desplazamiento promedio. Cabe destacar que en la tabla E23, no se consideró el peso del equipo (27 kgf) y tampoco la deformación (1 mm) que este provocaba, es por ello, que en la tabla E24 se muestra la carga base y desplazamiento base, que permite generar la tabla E25 que posee las cargas y desplazamientos finales. El procedimiento para obtener las tablas finales de las 5 vigas V2T-150-3200 es el mismo.

Tabla E23: Cargas y desplazamientos tarados.

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	5,81	5,20	5,51
200	11,39	10,82	11,11
300	16,99	16,47	16,73
400	22,89	21,84	22,37
500	28,20	28,21	28,21
600	34,14	36,31	35,23

Tabla E25: Cargas y desplazamientos finales.

Carga (kgf)	D prom
27	1,00
127	6,51
227	12,11
327	17,73
427	23,37
527	29,21
627	36,23

Carga base	27	[kgf]
Desp base	1	[mm]

Tabla E24: Carga base y desplazamiento base.

E.3.2 Viga 2.

Tabla E26: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-3200 (2).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	3,90	4,65	4,28
200	8,48	9,47	8,98
300	12,94	13,83	13,39
400	16,80	17,57	17,19
500	21,77	22,35	22,06
600	27,18	27,72	27,45
700	32,46	33,58	33,02
800	41,12	43,10	42,11

Tabla E27: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-3200 (2).

Carga (kgf)	D prom
27	1,00
127	5,28
227	9,98
327	14,39
427	18,19
527	23,06
627	28,45
727	34,02
827	43,11

*E.3.3 Viga 3.***Tabla E28: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-3200 (3).**

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	3,35	4,77	4,06
200	7,15	8,45	7,80
300	10,82	12,39	11,61
400	14,25	16,53	15,39
500	18,12	20,72	19,42
600	21,89	24,55	23,22
700	25,61	28,89	27,25
800	29,19	33,45	31,32
900	32,76	37,92	35,34
1000	36,32	42,78	39,55
1100	39,85	47,86	43,86
1200	43,28	54,10	48,69
1300	46,42	62,77	54,60

Tabla E29: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-3200 (3).

Carga (kgf)	D prom
27	1,00
127	5,06
227	8,80
327	12,61
427	16,39
527	20,42
627	24,22
727	28,25
827	32,32
927	36,34
1027	40,55
1127	44,86
1227	49,69
1327	55,60

E.3.4 Viga 4.

Tabla E30: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-3200 (4).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	5,13	5,32	5,23
200	9,82	10,27	10,05
300	14,68	15,18	14,93
400	20,01	20,55	20,28
500	26,12	26,07	26,10
600	32,44	32,29	32,37

Tabla E31: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-3200 (4).

Carga (kgf)	D prom
27	1,00
127	6,23
227	11,05
327	15,93
427	21,28
527	27,10
627	33,37

E.3.5 Viga 5.

Tabla E32: Cargas y desplazamientos tarados V2T-150-3200 (5).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	4,77	4,94	4,86
200	8,86	9,28	9,07
300	12,47	13,32	12,90
400	16,50	17,59	17,05
500	21,30	22,54	21,92
600	25,12	26,77	25,95
700	29,70	31,76	30,73
800	34,31	36,77	35,54
900	38,98	42,51	40,75
1000	44,01	48,20	46,11
1100	49,05	54,84	51,95

Tabla E33: Cargas y desplazamientos finales V2T-150-3200 (5).

Carga (kgf)	D prom
27	1,00
127	5,86
227	10,07
327	13,90
427	18,05
527	22,92
627	26,95
727	31,73
827	36,54
927	41,75
1027	47,11
1127	52,95

E.4 V2T-120-3200.*E.4.1 Viga 1.*

En la tabla E34 se encuentra la carga aplicada a incrementos de 100 [kgf] con sus respectivos desplazamientos a ambos lados de la viga (D1 y D2), además se obtiene un desplazamiento promedio. Cabe destacar que en la tabla E34, no se consideró el peso del equipo (27 kgf) y tampoco la deformación (1,5 mm) que este provocaba, es por ello, que en la tabla E35 se muestra la carga base y desplazamiento base, que permite generar la tabla E36 que posee las cargas y desplazamientos finales. El procedimiento para obtener las tablas finales de las 5 vigas V2T-120-3200 es el mismo.

Tabla E34: Cargas y desplazamientos tarados.

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	6,57	8,60	7,59
200	13,24	16,15	14,70
300	20,05	23,43	21,74
400	25,63	28,82	27,23
500	32,65	35,63	34,14
600	39,72	42,71	41,22
700	48,67	50,73	49,70
800	57,12	58,39	57,76
900	67,22	66,98	67,10
1000	80,95	77,43	79,19

Tabla E36: Cargas y desplazamientos finales.

Carga (kgf)	D prom
27	1,50
127	9,09
227	16,20
327	23,24
427	28,73
527	35,64
627	42,72
727	51,20
827	59,26
927	68,60
1027	80,69

Tabla E35: Carga base y desplazamiento base.

Carga base	27	[kgf]
Desp base	1,5	[mm]

*E.4.2 Viga 2.***Tabla E37: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-3200 (2).**

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	7,72	7,50	7,61
200	14,89	15,41	15,15
300	21,98	22,37	22,18
400	28,30	29,16	28,73
500	36,07	37,64	36,86

Tabla E38: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-3200 (2).

Carga (kgf)	D prom
27	1,50
127	9,11
227	16,65
327	23,68
427	30,23
527	38,36

E.4.3 Viga 3.

Tabla E39: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-3200 (3).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	7,74	8,84	8,29
200	14,87	16,39	15,63
300	27,16	30,47	28,82
400	42,50	48,39	45,45

Tabla E40: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-3200 (3).

Carga (kgf)	D prom
27	1,50
127	9,79
227	17,13
327	30,32
427	46,95

E.4.4 Viga 4.

Tabla E41: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-3200 (4).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	6,57	8,29	7,43
200	13,13	15,43	14,28
300	20,54	23,45	22,00
400	28,28	31,97	30,13

Tabla E42: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-3200 (4).

Carga (kgf)	D prom
27	1,50
127	8,93
227	15,78
327	23,50
427	31,63

E.4.5 Viga 5.

Tabla E43: Cargas y desplazamientos tarados V2T-120-3200 (5).

Carga [kgf]	D1 [mm]	D2 [mm]	D prom
100	7,06	6,78	6,92
200	13,77	13,55	13,66
300	20,54	19,62	20,08
400	27,03	25,44	26,24
500	34,18	31,76	32,97
600	41,37	37,87	39,62
700	49,29	43,67	46,48

Tabla E44: Cargas y desplazamientos finales V2T-120-3200 (5).

Carga (kgf)	D prom
27	1,50
127	8,42
227	15,16
327	21,58
427	27,74
527	34,47
627	41,12
727	47,98

ANEXO F: GRÁFICOS DE CARGA V/S DESPLAZAMIENTO.

A partir de los datos de carga y desplazamiento finales que se muestran en el anexo E, se confeccionan los gráficos de carga v/s desplazamiento. Además en estos gráficos se realizaron las regresiones lineales que permiten observar la carga en el límite de proporcionalidad, para luego ser utilizados en el cálculo del módulo de elasticidad y la tensión en el límite de proporcionalidad

F.1 V2T-150-5000.

F.1.1 Viga 1.

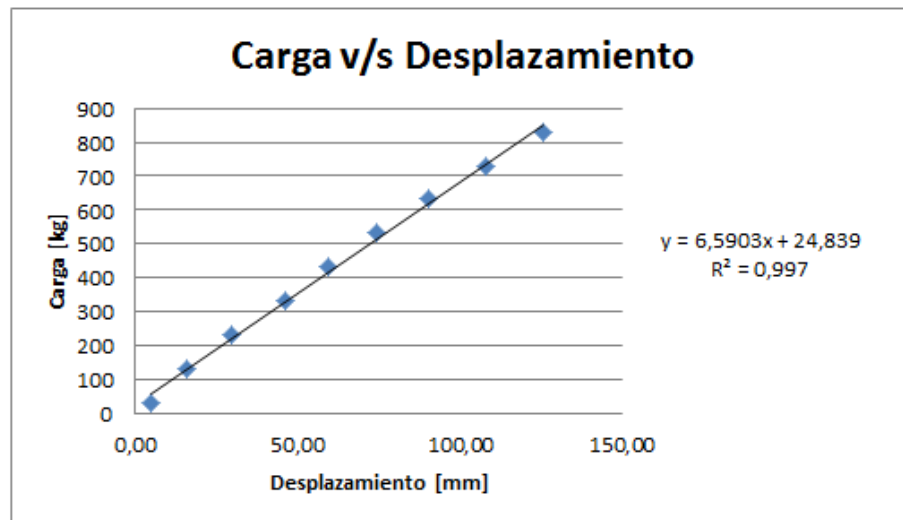


Figura F1: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-5000 (1).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-5000 (1) es 831 [kgf]. Por lo tanto la carga total se divide en dos, para obtener las dos cargas a $l/4$ con un valor de 415,5 [kgf].

F.1.2 Viga 2.

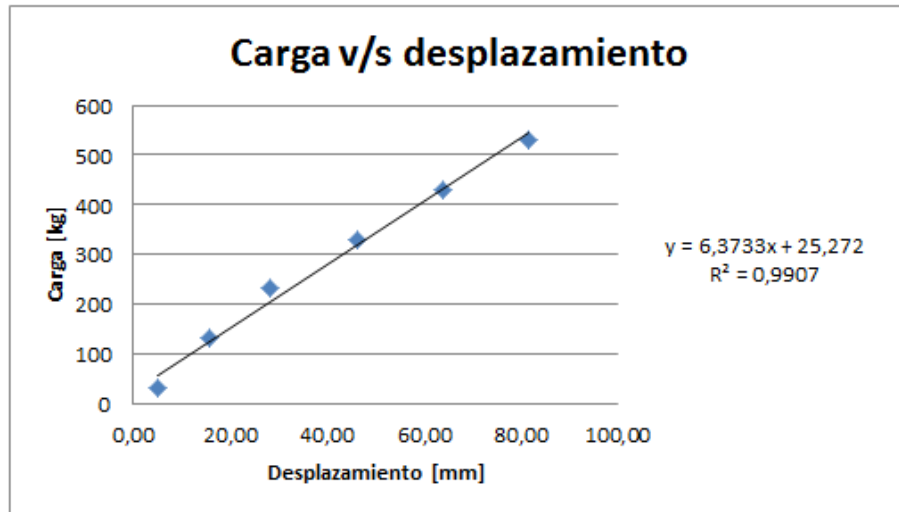


Figura F2: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-5000 (2).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-5000 (2) es 231 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 115,5 [kgf].

F.1.3 Viga 3.

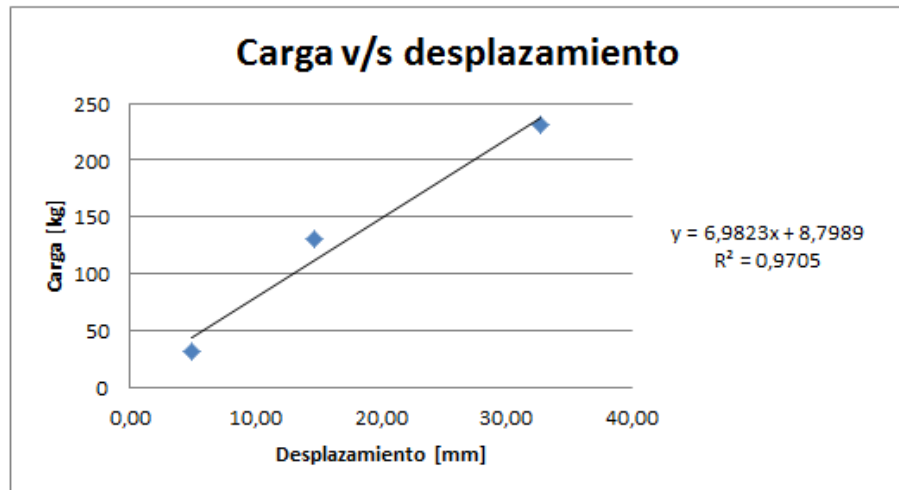


Figura F3: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-5000 (3).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-5000 (3) es 231 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 115,5 [kgf].

F.1.4 Viga 4.

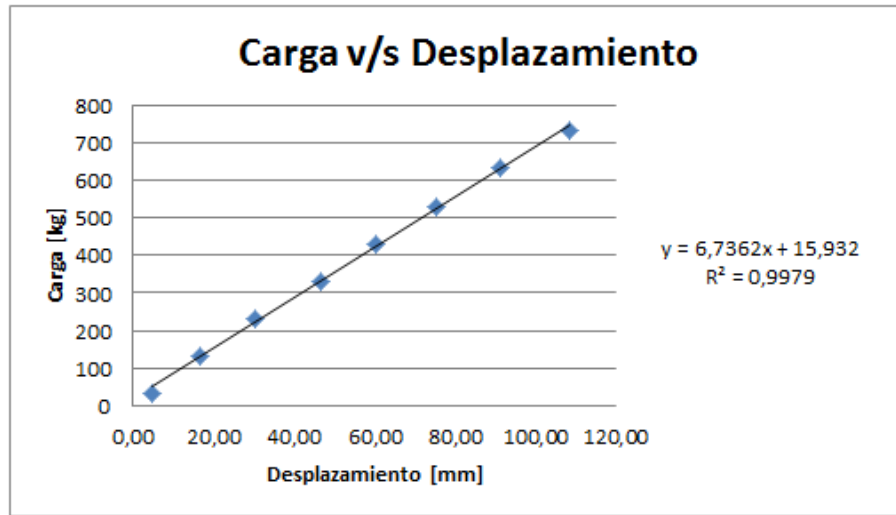


Figura F4: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-5000 (4).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-5000 (4) es 731 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 365,5 [kgf].

F.1.5 Viga 5.

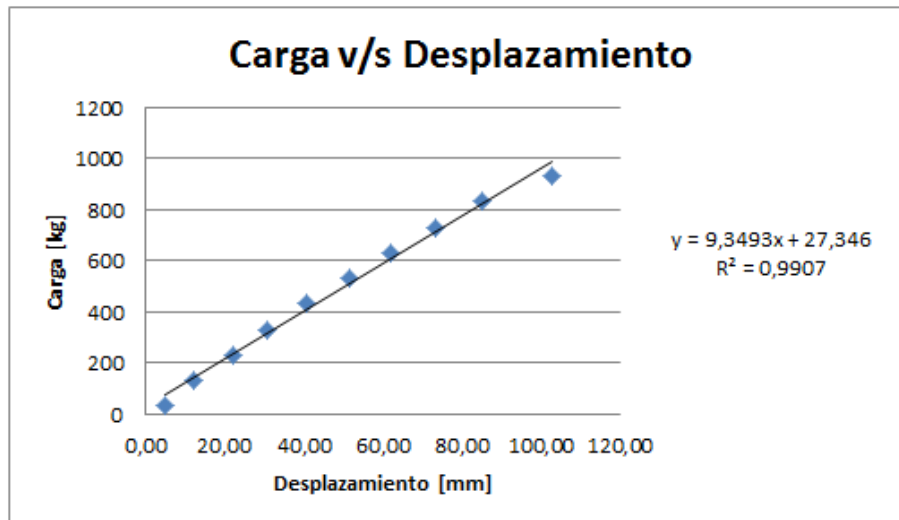


Figura F5: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-5000 (5).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-5000 (5) es 831 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 415,5 [kgf].

F.2 V2T-120-5000.

F.2.1 Viga 1.

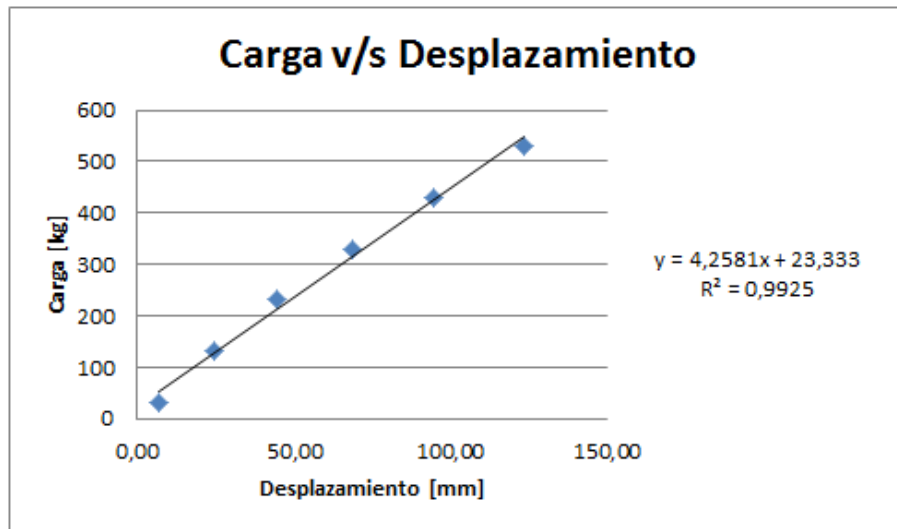


Figura F6: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-5000 (1).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-5000 (1) es 131 [kgf].

Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 65,5 [kgf].

F.2.2 Viga 2.

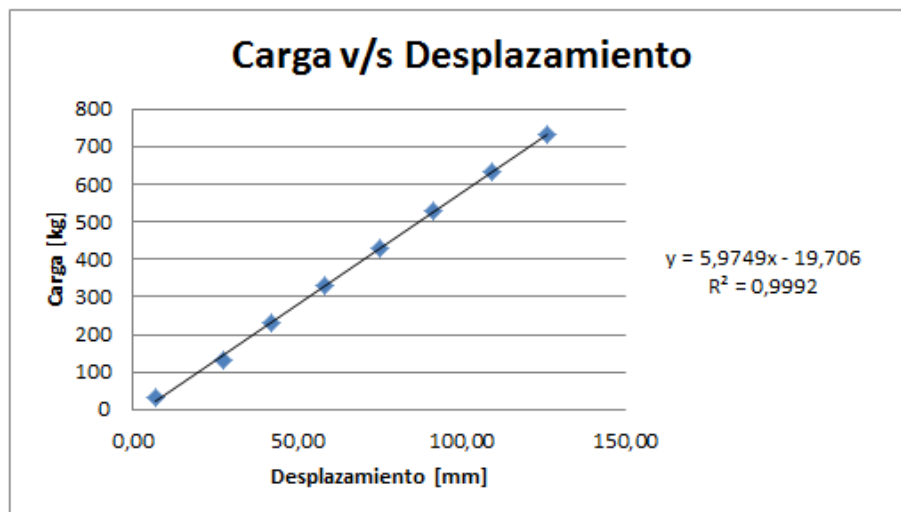


Figura F7: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-5000 (2).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-5000 (2) es 731 [kgf].

Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 365,5 [kgf].

F.2.3 Viga 3.

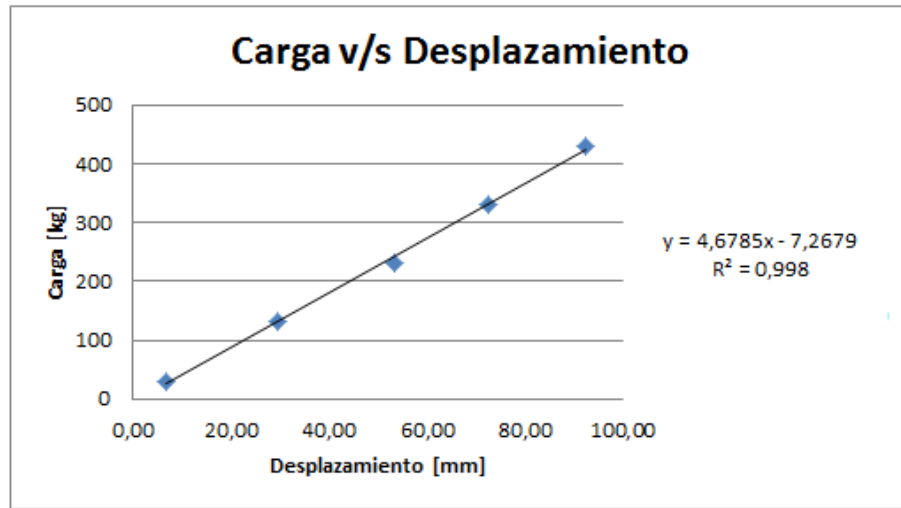


Figura F8: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-5000 (3).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-5000 (3) es 431 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 215,5 [kgf].

F.2.4 Viga 4.

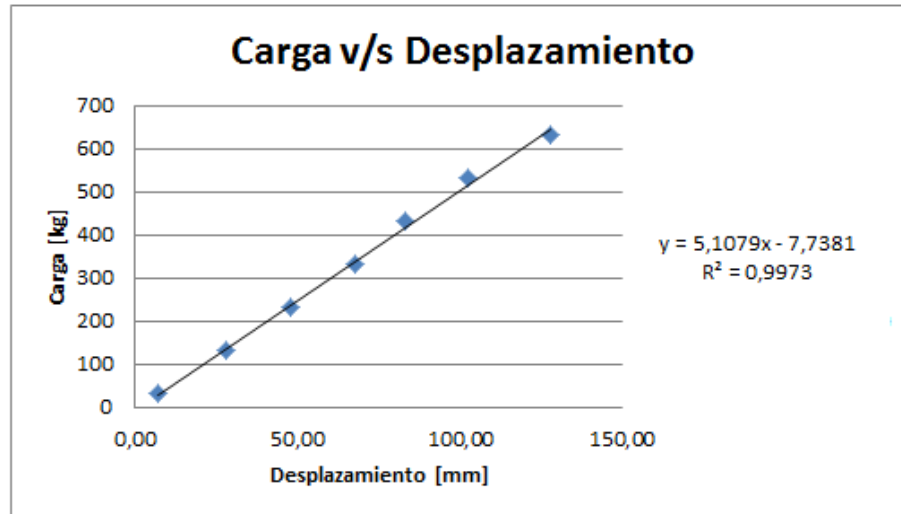


Figura F9: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-5000 (4).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-5000 (4) es 631 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 315,5 [kgf].

F.2.5 Viga 5.

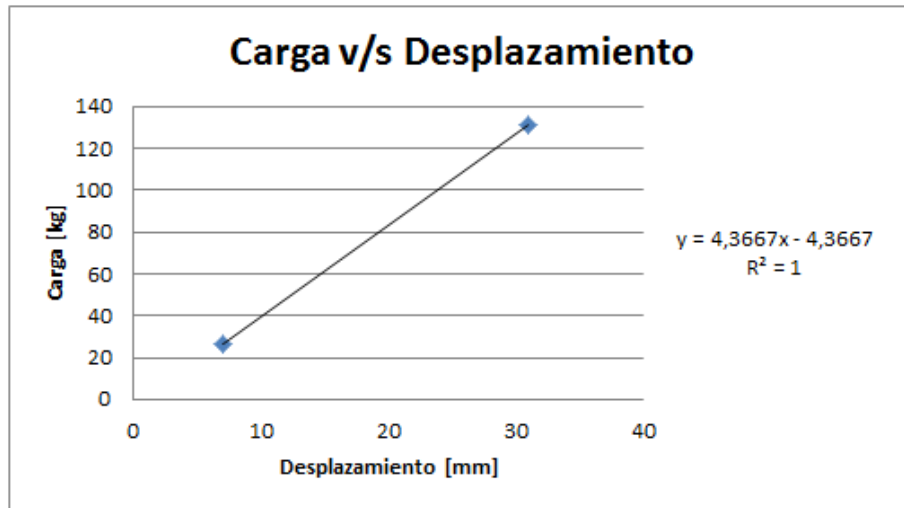


Figura F10: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-5000 (5).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-5000 (5) es 131 [kgf]. Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 65,5 [kgf].

F.3 V2T-150-3200.

F.3.1 Viga 1.

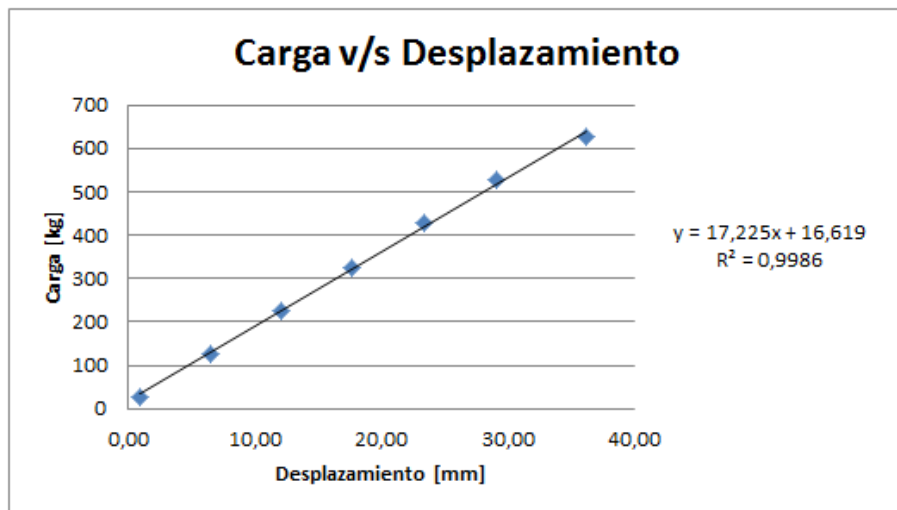


Figura F11: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-3200 (1).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-3200 (1) es 627 [kgf]. Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 313,5 [kgf].

F.3.2 Viga 2.

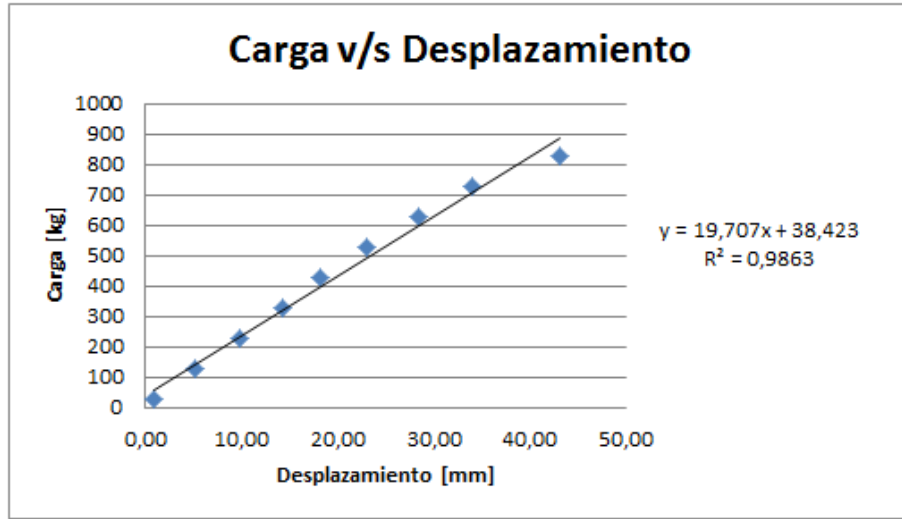


Figura F12: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-3200 (2).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-3200 (2) es 727 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 363,5 [kgf].

F.3.3 Viga 3.

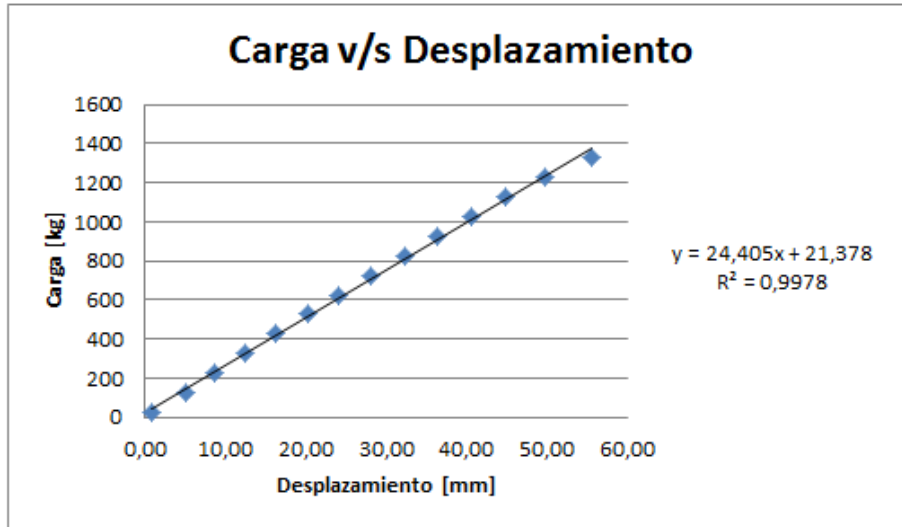


Figura F13: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-3200 (3).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-3200 (3) es 1327 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 663,5 [kgf].

F.3.4 Viga 4.

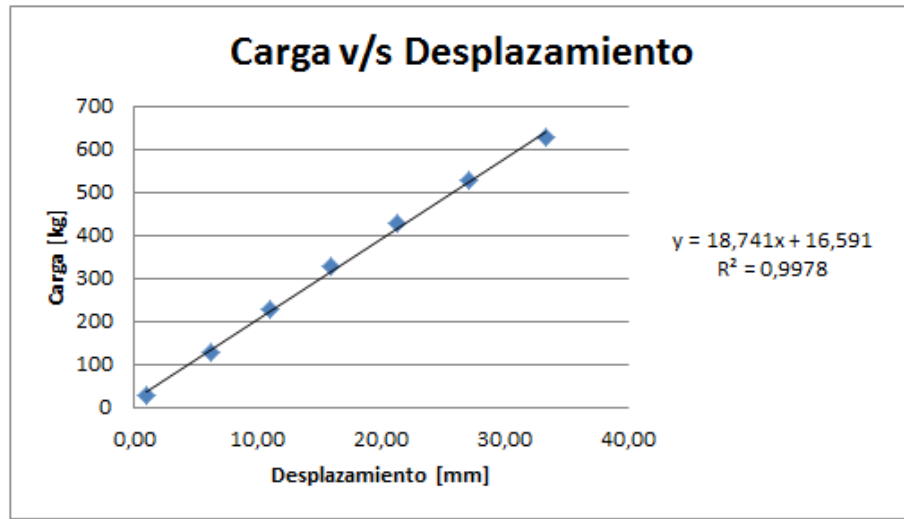


Figura F14: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-3200 (4).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-3200 (4) es 627 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 313,5 [kgf].

F.3.5 Viga 5.

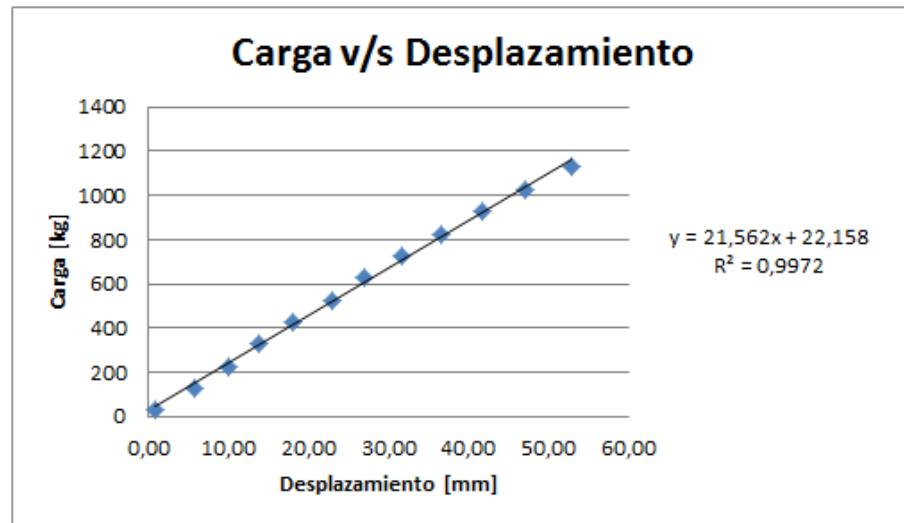


Figura F15: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-150-3200 (5).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-150-3200 (5) es 1127 [kgf].
Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 563,5 [kgf].

F.4 V2T-120-3200.

F.4.1 Viga 1.

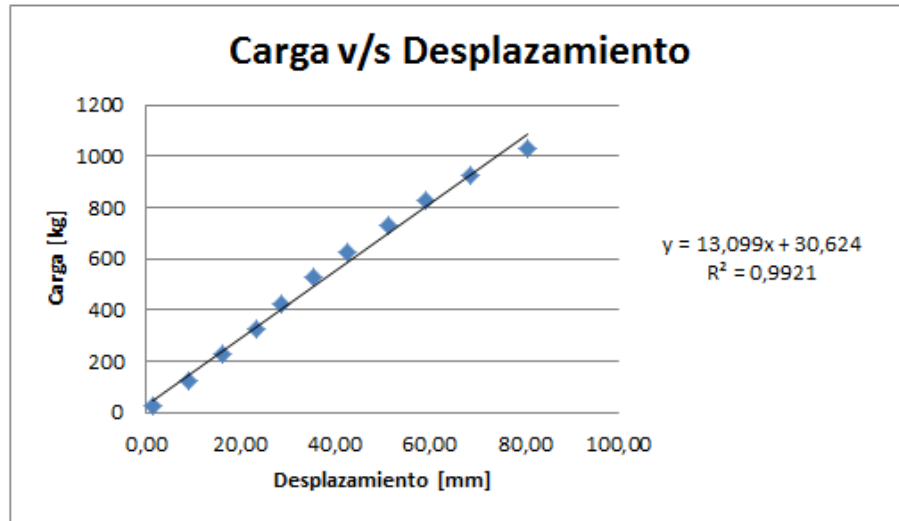


Figura F16: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-3200 (1).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-3200 (1) es 927 [kgf].

Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 463,5 [kgf].

F.4.2 Viga 2.

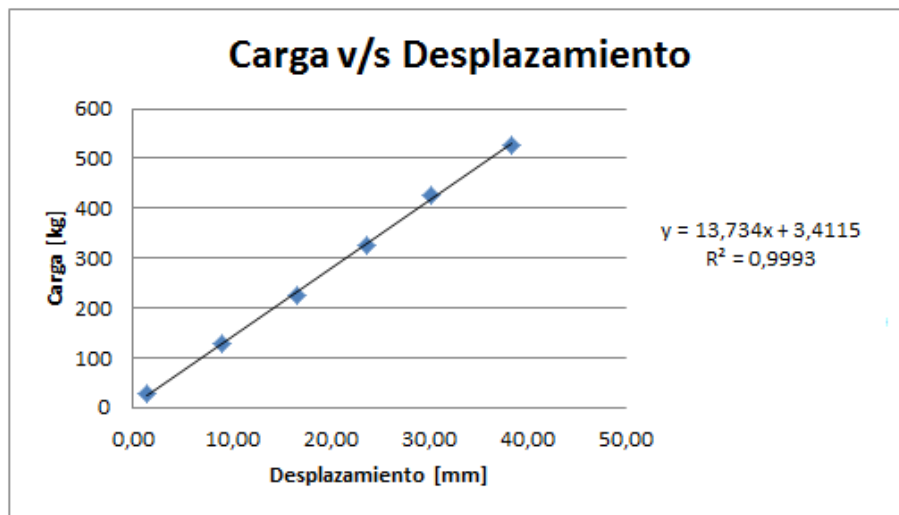


Figura F17: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-3200 (2).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-3200 (2) es 527 [kgf].

Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 263,5 [kgf].

F.4.3 Viga 3.

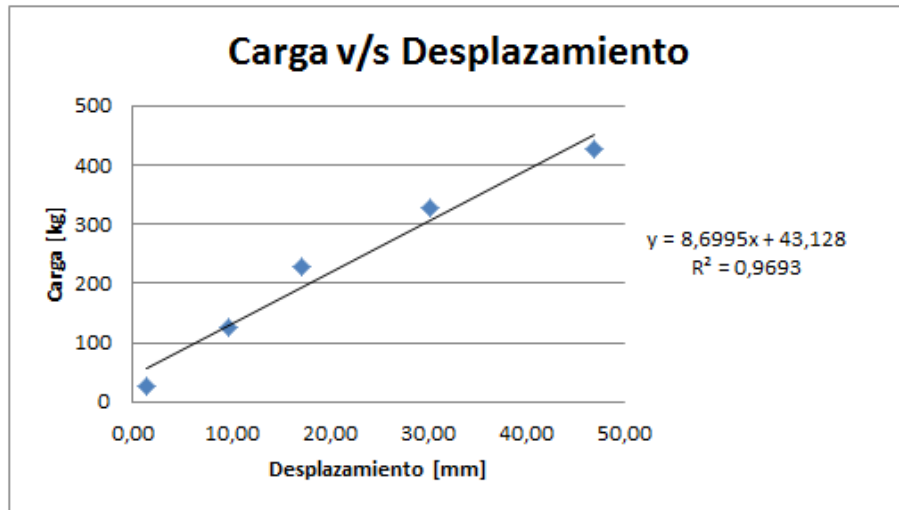


Figura F18: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-3200 (3).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-3200 (3) es 227 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 113,5 [kgf].

F.4.4 Viga 4.

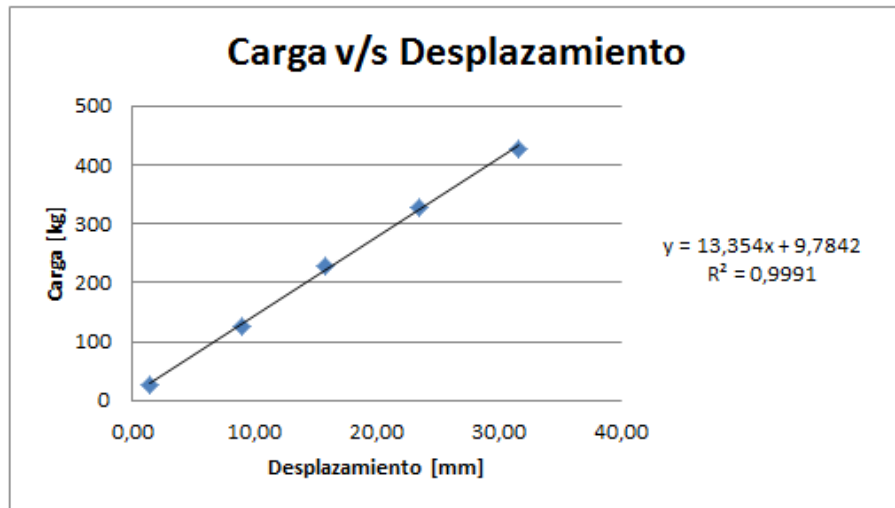


Figura F19: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-3200 (4).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-3200 (4) es 427 [kgf].
 Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 213,5 [kgf].

F.4.5 Viga 5.

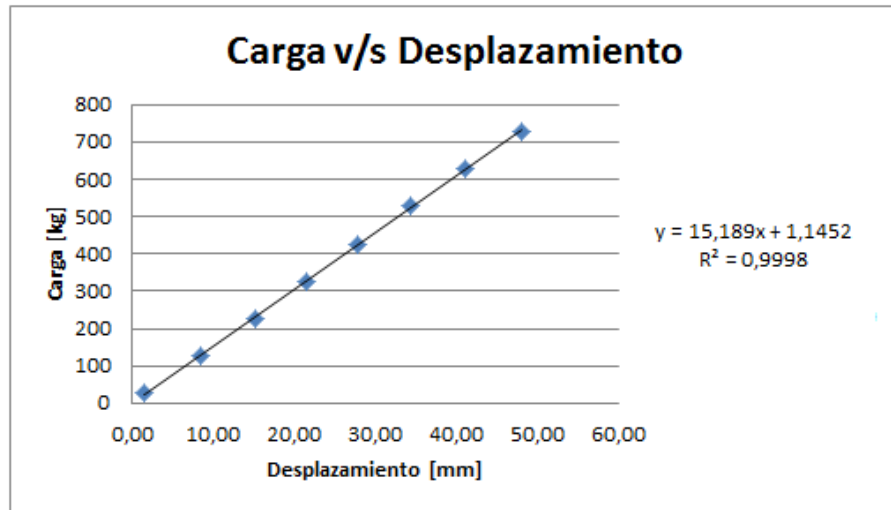


Figura F20: Gráfico carga v/s desplazamiento V2T-120-3200 (5).

La carga total en el límite de proporcionalidad que posee la viga V2T-120-3200 (5) es 727 [kgf].

Las dos cargas a $l/4$ poseen un valor de 363,5 [kgf].

ANEXO G: TABLAS DE CÁLCULO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Para realizar el cálculo del MOE, se utiliza la ecuación 1 descrita en el punto 3.5.1 del informe. En el presente anexo se muestran tablas con los valores de MOE para cada una de las vigas ensayadas, el color azul representa los valores de MOE que se promedian, puesto que, se encuentran en el rango elástico, esto para obtener el MOE final de cada viga.

G.1 V2T-150-5000.

G.1.1 Viga 1.

Tabla G1: MOE de la viga V2T-150-5000 (1).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,50				
27,01	131	1,61	50	1,11	147874879	108623,01
47,63	231	2,97	50	1,36	119883890	88061,94
68,25	331	4,60	50	1,63	100338804	73704,90
88,87	431	5,96	50	1,36	120060060	88191,35
109,48	531	7,46	50	1,50	108789442	79912,40
130,10	631	9,04	50	1,58	103549900	76063,64
150,72	731	10,79	50	1,75	93159487,8	68431,26
171,34	831	12,55	50	1,76	92841898,6	68197,97

Tabla G2: MOE promedio de la viga V2T-150-5000 (1).

E [kg/cm ²]	81398,31
-------------------------	----------

G.1.2 Viga 2.

Tabla G3: MOE de la viga V2T-150-5000 (2).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,50				
27,01	131	1,58	50	1,08	150670117	110676,28
47,63	231	2,84	50	1,25	130304419	95716,45
68,25	331	4,62	50	1,78	91695702,3	67356,02
88,87	431	6,39	50	1,77	92369554,3	67851,01
109,48	531	8,14	50	1,75	93239224,8	68489,83

Tabla G4: MOE promedio de la viga V2T-150-5000 (2).

E [kg/cm ²]	103196,37
-------------------------	-----------

G.1.3 Viga 3.

Tabla G5: MOE de la viga V2T-150-5000 (3).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,50				
27,01	131	1,47	50	0,97	168368616	123676,90
47,63	231	3,28	50	1,81	90302150,6	66332,37

Tabla G6: MOE promedio de la viga V2T-150-5000 (3).

E [kg/cm ²]	95004,63
-------------------------	----------

G.1.4 Viga 4.

Tabla G7: MOE de la viga V2T-150-5000 (4).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,50				
27,01	131	1,67	50	1,17	139540343	102500,79
47,63	231	3,03	50	1,36	119883890	88061,94
68,25	331	4,66	50	1,63	100493076	73818,22
88,87	431	6,02	50	1,36	120325288	88386,18
109,48	531	7,52	50	1,50	108753239	79885,81
130,10	631	9,10	50	1,58	103549900	76063,64
150,72	731	10,85	50	1,76	93079886,9	68372,79

Tabla G8: MOE promedio de la viga V2T-150-5000 (4).

E [kg/cm ²]	82441,34
-------------------------	----------

G.1.5 Viga 5.

Tabla G9: MOE de la viga V2T-150-5000 (5).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,50				
27,01	131	1,21	50	0,71	231447226	170011,94
47,63	231	2,21	50	1,01	162024533	119016,79
68,25	331	3,10	50	0,88	184843599	135778,77
88,87	431	4,09	50	1,00	164222856	120631,59
109,48	531	5,14	50	1,05	156365303	114859,74
130,10	631	6,18	50	1,04	156966130	115301,08
150,72	731	7,32	50	1,14	143272022	105241,94
171,34	831	8,49	50	1,17	140018630	102852,12
191,96	931	10,29	50	1,80	90854457,3	66738,08

Tabla G10: MOE promedio de la viga V2T-150-5000 (5).

E [kg/cm ²]	122961,75
-------------------------	-----------

G.2 V2T-120-5000.

G.2.1 Viga 1.

Tabla G11: MOE de la viga V2T-120-5000 (1).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,70				
27,01	131	2,45	50	1,75	93425809,9	138184,24
47,63	231	4,49	50	2,04	80138176,3	118530,77
68,25	331	6,88	50	2,39	68368929,5	101123,11
88,87	431	9,46	50	2,59	63211505,4	93494,87
109,48	531	12,33	50	2,87	57013866,6	84328,06

Tabla G12: MOE promedio de la viga V2T-120-5000 (1).

E [kg/cm ²]	107132,21
-------------------------	-----------

G.2.2 Viga 2.

Tabla G13: MOE de la viga V2T-120-5000 (2).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,70				
27,01	131	2,75	50	2,05	79649886,2	117808,55
47,63	231	4,21	50	1,46	112265023	166048,94
68,25	331	5,85	50	1,64	99574492,1	147278,63
88,87	431	7,51	50	1,66	98375521,7	145505,26
109,48	531	9,12	50	1,61	101554842	150207,73
130,10	631	10,94	50	1,82	89584288,1	132502,32
150,72	731	12,58	50	1,63	99970475,1	147864,32

Tabla G14: MOE promedio de la viga V2T-120-5000 (2).

E [kg/cm ²]	143887,96
-------------------------	-----------

G.2.3 Viga 3.

Tabla G15: MOE de la viga V2T-120-5000 (3).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,70				
27,01	131	2,96	50	2,26	72285663,1	106916,27
47,63	231	5,33	50	2,37	68916803,7	101933,46
68,25	331	7,25	50	1,92	85038637,3	125778,94
88,87	431	9,22	50	1,97	83113805,5	122931,96

Tabla G16: MOE promedio de la viga V2T-120-5000 (3).

E [kg/cm ²]	114390,16
-------------------------	-----------

G.2.4 Viga 4.

Tabla G17: MOE de la viga V2T-120-5000 (4).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,70				
27,01	131	2,79	50	2,09	78089243,3	115500,23
47,63	231	4,79	50	2,00	81639641	120751,55
68,25	331	6,79	50	1,99	82049581,5	121357,89
88,87	431	8,34	50	1,55	105318557	155774,56
109,48	531	10,23	50	1,89	86433082	127841,43
130,10	631	12,79	50	2,56	63891199	94500,19

Tabla G18: MOE promedio de la viga V2T-120-5000 (4).

E [kg/cm ²]	122620,97
-------------------------	-----------

G.2.5 Viga 5.

Tabla G19: MOE de la viga V2T-120-5000 (5).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
6,39	31	0,70				
27,01	131	2,62	50	1,92	85105073,7	125877,20

Tabla G20: MOE promedio de la viga V2T-120-5000 (5).

E [kg/cm ²]	125877,20
-------------------------	-----------

G.3 V2T-150-3200.

G.3.1 Viga 1.

Tabla G21: MOE de la viga V2T-150-3200 (1).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,10				
41,64	127	0,65	50	0,55	73819935,2	54225,19
74,43	227	1,21	50	0,56	72567632,8	53305,30
107,21	327	1,77	50	0,56	72245110	53068,39
140,00	427	2,34	50	0,56	72116902,1	52974,21
172,79	527	2,92	50	0,58	69585401,3	51114,67
205,57	627	3,62	50	0,70	57888709,9	42522,75

Tabla G22: MOE promedio de la viga V2T-150-3200 (1).

E [kg/cm ²]	51201,75
-------------------------	----------

G.3.2 Viga 2.

Tabla G23: MOE de la viga V2T-150-3200 (2).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,10				
41,64	127	0,53	50	0,43	95059355,2	69826,83
74,43	227	1,00	50	0,47	86463562,4	63512,70
107,21	327	1,44	50	0,44	92149374,9	67689,27
140,00	427	1,82	50	0,38	106941775	78555,18
172,79	527	2,31	50	0,49	83359742,3	61232,76
205,57	627	2,85	50	0,54	75394943,1	55382,13
238,36	727	3,40	50	0,56	72958481,8	53592,40
271,15	827	4,31	50	0,91	44706132,4	32839,35

Tabla G24: MOE promedio de la viga V2T-150-3200 (2).

E [kg/cm ²]	64255,89
-------------------------	----------

G.3.3 Viga 3.

Tabla G25: MOE de la viga V2T-150-3200 (3).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,10				
41,64	127	0,51	50	0,41	100093287	73524,55
74,43	227	0,88	50	0,37	108657418	79815,42
107,21	327	1,26	50	0,38	106801247	78451,95
140,00	427	1,64	50	0,38	107365586	78866,49
172,79	527	2,04	50	0,40	100838398	74071,88
205,57	627	2,42	50	0,38	106941775	78555,18
238,36	727	2,83	50	0,40	100838398	74071,88
271,15	827	3,23	50	0,41	99847357,1	73343,90
303,93	927	3,63	50	0,40	101089240	74256,14
336,72	1027	4,06	50	0,42	96527017,5	70904,91
369,51	1127	4,49	50	0,43	94396920,7	69340,23
402,30	1227	4,97	50	0,48	84049378,2	61739,33
435,08	1327	5,56	50	0,59	68819431,6	50552,02

Tabla G26: MOE promedio de la viga V2T-150-3200 (3).

E [kg/cm ²]	72114,92
-------------------------	----------

G.3.4 Viga 4.

Tabla G27: MOE de la viga V2T-150-3200 (4).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,10				
41,64	127	0,62	50	0,52	77775836,1	57131,04
74,43	227	1,10	50	0,48	84310942,6	61931,47
107,21	327	1,59	50	0,49	83189098	61107,41
140,00	427	2,13	50	0,54	75958643,6	55796,20
172,79	527	2,71	50	0,58	69884564,7	51334,43
205,57	627	3,34	50	0,63	64813196,7	47609,20

Tabla G28: MOE promedio de la viga V2T-150-3200 (4).

E [kg/cm ²]	55818,29
-------------------------	----------

G.3.5 Viga 5.

Tabla G29: MOE de la viga V2T-150-3200 (5).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,10				
41,64	127	0,59	50	0,49	83703139,8	61485,00
74,43	227	1,01	50	0,42	96412513,3	70820,80
107,21	327	1,39	50	0,38	106242809	78041,75
140,00	427	1,80	50	0,42	97922588,8	71930,04
172,79	527	2,29	50	0,49	83359742,3	61232,76
205,57	627	2,69	50	0,40	100963663	74163,90
238,36	727	3,17	50	0,48	84927637,1	62384,47
271,15	827	3,65	50	0,48	84486225,3	62060,23
303,93	927	4,17	50	0,52	78074686,5	57350,56
336,72	1027	4,71	50	0,54	75816929,8	55692,10
369,51	1127	5,29	50	0,58	69585401,3	51114,67

Tabla G30: MOE promedio de la viga V2T-150-3200 (5).

E [kg/cm ²]	64206,93
-------------------------	----------

G.4 V2T-120-3200.

G.4.1 Viga 1.

Tabla G31: MOE de la viga V2T-120-3200 (1).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,15				
41,64	127	0,91	50	0,76	53576630,65	79244,12
74,43	227	1,62	50	0,71	57155941,42	84538,20
107,21	327	2,32	50	0,70	57683285,09	85318,19
140,00	427	2,87	50	0,55	74089105,47	109583,71
172,79	527	3,56	50	0,69	58767714,17	86922,14
205,57	627	4,27	50	0,71	57438691,66	84956,41
238,36	727	5,12	50	0,85	47893782,38	70838,73
271,15	827	5,93	50	0,81	50450495,78	74620,31
303,93	927	6,86	50	0,93	43486221,88	64319,60
336,72	1027	8,07	50	1,21	33612799,3	49716,02

Tabla G32: MOE promedio de la viga V2T-120-3200 (1).

E [kg/cm ²]	82260,16
-------------------------	----------

G.4.2 Viga 2.

Tabla G33: MOE de la viga V2T-120-3200 (2).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	El [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,15				
41,64	127	0,91	50	0,76	53400623,3	78983,79
74,43	227	1,67	50	0,75	53896385,1	79717,06
107,21	327	2,37	50	0,70	57847508	85561,09
140,00	427	3,02	50	0,66	61995231,7	91695,90
172,79	527	3,84	50	0,81	50015845,4	73977,43

Tabla G32: MOE promedio de la viga V2T-120-3200 (2).

E [kg/cm ²]	81987,05
-------------------------	----------

G.4.3 Viga 3.

Tabla G35: MOE de la viga V2T-120-3200 (3).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	El [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,15				
41,64	127	0,98	50	0,83	49020355,1	72505,02
74,43	227	1,71	50	0,73	55364951,4	81889,19
107,21	327	3,03	50	1,32	30821292,6	45587,15
140,00	427	4,69	50	1,66	24436484,9	36143,51

Tabla G36: MOE promedio de la viga V2T-120-3200 (3).

E [kg/cm ²]	77197,10
-------------------------	----------

G.4.4 Viga 4.

Tabla G37: MOE de la viga V2T-120-3200 (4).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,15				
41,64	127	0,89	50	0,74	54694312,7	80897,26
74,43	227	1,58	50	0,69	59325364	87746,95
107,21	327	2,35	50	0,77	52673848,8	77908,83
140,00	427	3,16	50	0,81	49985085,3	73931,93

Tabla G38: MOE promedio de la viga V2T-120-3200 (4).

E [kg/cm ²]	80121,24
-------------------------	----------

G.4.5 Viga 5.

Tabla G39: MOE de la viga V2T-120-3200 (5).

Módulo de elasticidad						
[kgf/m]	Carga [kgf]	D prom [cm]	delta P	delta d	EI [kgf*cm ²]	E [kgf/cm ²]
8,85	27	0,15				
41,64	127	0,84	50	0,69	58725251,9	86859,34
74,43	227	1,52	50	0,67	60293582,1	89179,03
107,21	327	2,16	50	0,64	63298869,7	93624,09
140,00	427	2,77	50	0,62	66024166,3	97655,02
172,79	527	3,45	50	0,67	60338343,5	89245,23
205,57	627	4,11	50	0,67	61109585,5	90385,96
238,36	727	4,80	50	0,69	59238883,9	87619,04

Tabla G40: MOE promedio de la viga V2T-120-3200 (5).

E [kg/cm ²]	90652,53
-------------------------	----------

ANEXO H: DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES

El diagrama de caja y bigotes permite evaluar la existencia de puntos atípicos para un grupo de valores. En el presente anexo, se muestran los gráficos tanto para el módulo de elasticidad, módulo de rotura y tensión en el límite de proporcionalidad. Los diagramas se obtuvieron con el software TI-Nspire CAS.

H.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

H.1.1 Cuartiles.

$$Q_1(25\% \text{ de los datos}) = 74656,01$$

$$Q_2(\text{Mediana}) = 82350,75$$

$$Q_3(75\% \text{ de los datos}) = 119761,18$$

H.1.2 Rango intercuartilico.

$$RIC = Q_3 - Q_1 = 45105,17$$

H.1.3 Límite inferior y superior.

$$\text{Lim. inferior} = Q_1 - 1,5 * RIC = 6998,25$$

$$\text{Lim. superior} = Q_3 + 1,5 * RIC = 187418,93$$

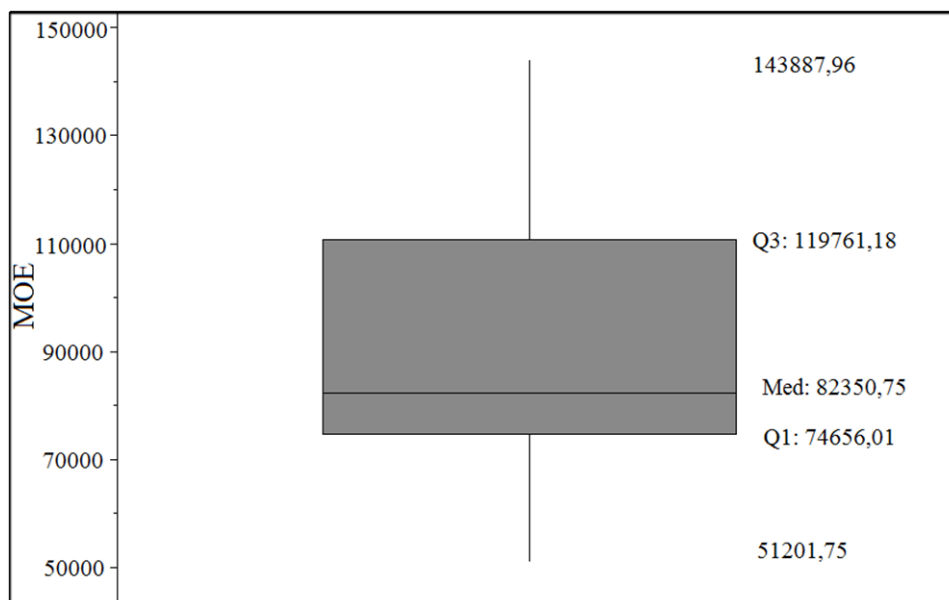


Figura H1. Diagrama de caja y bigotes MOE

Del diagrama de caja y bigotes se puede apreciar que no existen datos atípicos de módulo de elasticidad, ya que, todos los datos se encuentran entre el límite inferior y superior. En este caso el programa considera como límite inferior el menor MOE y como límite superior el mayor MOE.

H.2 TENSIÓN EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD.

H.2.1 Cuartiles.

$$Q_1(25\% \text{ de los datos}) = 164,77$$

$$Q_2(\text{Mediana}) = 254,72$$

$$Q_3(75\% \text{ de los datos}) = 305,69$$

H.2.2 Rango intercuartilico.

$$RIC = Q_3 - Q_1 = 140,92$$

H.2.3 Límite inferior y superior.

$$\text{Lim. inferior} = Q_1 - 1,5 * RIC = -46,61$$

$$\text{Lim. superior} = Q_3 + 1,5 * RIC = 517,07$$

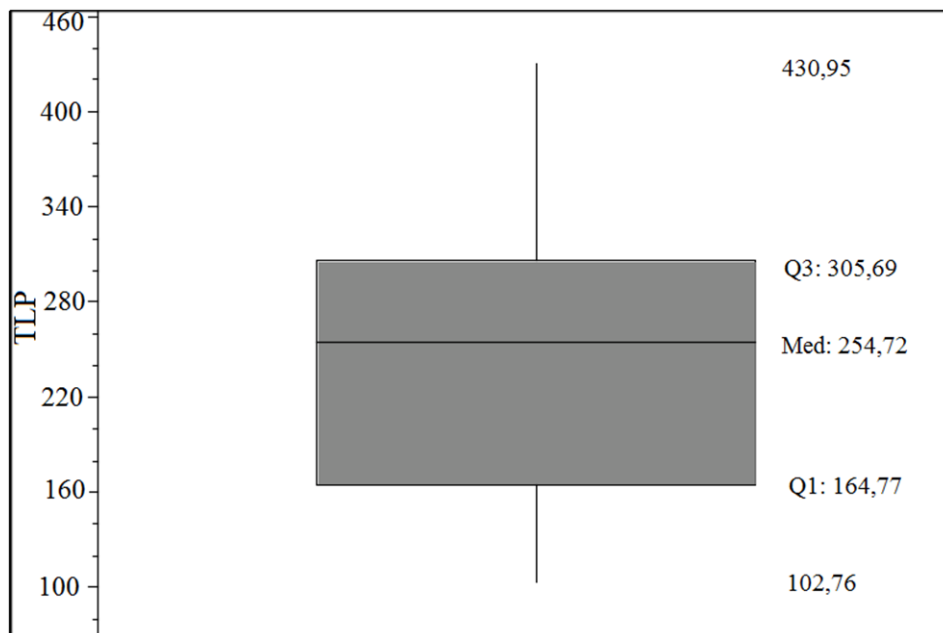


Figura H2. Diagrama de caja y bigotes TLP

Del diagrama de caja y bigotes se puede apreciar que no existen datos atípicos de tensión en el límite de proporcionalidad, ya que, todos los datos se encuentran entre el límite inferior y superior. En este caso el programa considera como límite inferior la menor TLP y como límite superior la mayor TLP.

H.3 MÓDULO DE ROTURA.

H.3.1 Cuartiles.

$$Q_1(25\% \text{ de los datos}) = 131,69$$

$$Q_2(\text{Mediana}) = 234,29$$

$$Q_3(75\% \text{ de los datos}) = 278,13$$

H.3.2 Rango intercuartilico.

$$RIC = Q_3 - Q_1 = 146,44$$

H.3.3 Límite inferior y superior.

$$\text{Lim. inferior} = Q_1 - 1,5 * RIC = -87,97$$

$$\text{Lim. superior} = Q_3 + 1,5 * RIC = 497,79$$

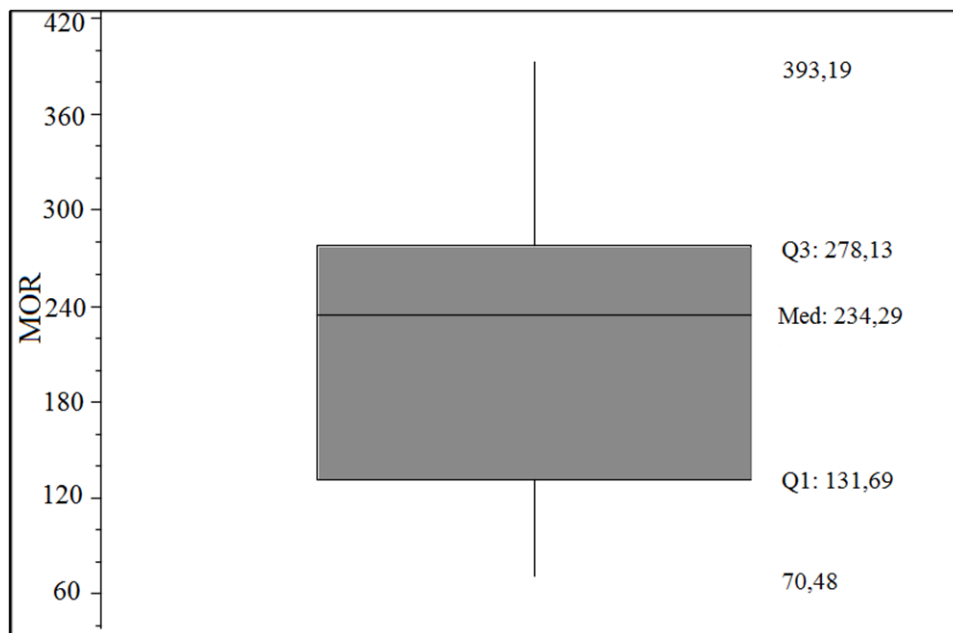


Figura H3. Diagrama de caja y bigotes MOR

Del diagrama de caja y bigotes se puede apreciar que no existen datos atípicos de módulo de rotura, ya que, todos los datos se encuentran entre el límite inferior y superior. En este caso el programa considera como límite inferior el menor MOR y como límite superior el mayor MOR.

ANEXO I: TABLAS DE CÁLCULO DE TENSION EN EL LÍMITE PROPORCIONAL

Para realizar el cálculo de la TLP, se utiliza las ecuaciones 2 y 3 descritas en el punto 3.5.2 del informe. En el presente anexo se muestra la carga, el momento y la tensión en el límite de proporcionalidad para cada una de las vigas ensayadas.

I.1 V2T-150-5000.

I.1.1 Viga 1.

Tabla I1: TLP viga V2T-150-5000 (1).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
415,50	50379,38	181,51	277,55

I.1.2 Viga 2.

Tabla I2: TLP viga V2T-150-5000 (2).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
115,50	14004,38	181,51	77,15

I.1.3 Viga 3.

Tabla I3: TLP viga V2T-150-5000 (3).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
115,50	14004,38	181,51	77,15

I.1.4 Viga 4.

Tabla I4: TLP viga V2T-150-5000 (4).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
365,50	44316,88	181,51	244,15

I.1.5 Viga 5.

Tabla I5: TLP viga V2T-150-5000 (5).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
415,50	50379,38	181,51	277,55

I.2 V2T-120-5000.

I.2.1 Viga 1.

Tabla I6: TLP viga V2T-120-5000 (1).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
265,50	32191,88	112,68	285,69

I.2.2 Viga 2.

Tabla I7: TLP viga V2T-120-5000 (2).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
365,50	44316,88	112,68	393,29

I.2.3 Viga 3.

Tabla I8: TLP viga V2T-120-5000 (3).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
215,50	26129,38	112,68	231,88

I.2.4 Viga 4.

Tabla I9: TLP viga V2T-120-5000 (4).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
315,50	38254,38	112,68	339,49

I.2.5 Viga 5.

Tabla I10: TLP viga V2T-120-5000 (5).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
65,50	7941,88	112,68	70,48

I.3 V2T-150-3200.

I.3.1 Viga 1.

Tabla I11: TLP viga V2T-150-3200 (1).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
313,50	23904,38	181,51	131,69

I.3.2 Viga 2.

Tabla I12: TLP viga V2T-150-3200 (2).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
363,50	27716,88	181,51	152,70

I.3.3 Viga 3.

Tabla I13: TLP viga V2T-150-3200 (3).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
663,50	50591,88	181,51	278,72

I.3.4 Viga 4.

Tabla I14: TLP viga V2T-150-3200 (4).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
313,50	23904,38	181,51	131,69

I.3.5 Viga 5.

Tabla I15: TLP viga V2T-150-3200 (5).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
563,50	42966,88	181,51	236,71

I.4 V2T-120-3200.

I.4.1 Viga 1.

Tabla I16: TLP viga V2T-120-3200 (1).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
463,5	35341,88	112,68	313,64

I.4.2 Viga 2.

Tabla I17: TLP viga V2T-120-3200 (2).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
263,50	20091,88	112,68	178,30

I.4.3 Viga 3.

Tabla I18: TLP viga V2T-120-3200 (3).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
113,50	8654,38	112,68	76,80

I.4.4 Viga 4.

Tabla I19: TLP viga V2T-120-3200 (4).

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
213,50	16279,38	112,68	144,47

*I.4.5 Viga 5.***Tabla I20: TLP viga V2T-120-3200 (5).**

Tensión en el límite de proporcionalidad			
Plp [kg]	Mlp [kg*cm]	Wx [cm ³]	TLP [kg/cm ²]
363,50	27716,88	112,68	245,97

ANEXO J: TABLAS DE CÁLCULO DE MÓDULO DE ROTURA

Para realizar el cálculo del MOR, se utilizan las ecuaciones 4 y 5 descritas en el punto 3.5.2 del informe. En el presente anexo se muestra la carga máxima, el momento máximo y el módulo de rotura para cada una de las vigas ensayadas.

J.1 V2T-150-5000.

J.1.1 Viga 1.

Tabla J1: MOR viga V2T-150-5000 (1).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
438,00	53107,50	181,51	292,58

J.1.2 Viga 2.

Tabla J2: MOR viga V2T-150-5000 (2).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
305,50	37041,88	181,51	204,07

J.1.3 Viga 3.

Tabla J3: MOR viga V2T-150-5000 (3).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
163,00	19763,75	181,51	108,88

J.1.4 Viga 4.

Tabla J4: MOR viga V2T-150-5000 (4).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
410,50	49773,13	181,51	274,21

J.1.5 Viga 5

Tabla J5: MOR viga V2T-150-5000 (5).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
501,50	60806,88	181,51	335,00

J.2 V2T-120-5000.

J.2.1 Viga 1.

Tabla J6: MOR viga V2T-120-5000 (1).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
295,50	35829,38	112,68	317,97

J.2.2 Viga 2.

Tabla J7: MOR viga V2T-120-5000 (2).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
400,50	48560,63	112,68	430,95

J.2.3 Viga 3.

Tabla J8: MOR viga V2T-120-5000 (3).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
255,50	30979,38	112,68	274,93

J.2.4 Viga 4.

Tabla J9: MOR viga V2T-120-5000 (4).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
330,50	40073,13	112,68	355,63

J.2.5 Viga 5.

Tabla J10: MOR viga V2T-120-5000 (5).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
95,50	11579,38	112,68	102,76

J.3 V2T-150-3200.

J.3.1 Viga 1.

Tabla J11: MOR viga V2T-150-3200 (1).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
363,50	27716,88	181,51	152,70

J.3.2 Viga 2.

Tabla J12: MOR viga V2T-150-3200 (2).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
458,50	34960,63	181,51	192,61

J.3.3 Viga 3.

Tabla J13: MOR viga V2T-150-3200 (3).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
698,50	53260,63	181,51	293,42

J.3.4 Viga 4.

Tabla J14: MOR viga V2T-150-3200 (4).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
363,50	27716,88	181,51	152,70

J.3.5 Viga 5.

Tabla J15: MOR viga V2T-150-3200 (5).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
613,50	46779,38	181,51	257,72

J.4 V2T-120-3200.

J.4.1 Viga 1.

Tabla J16: MOR viga V2T-120-3200 (1).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
558,5	42585,63	112,68	377,93

J.4.2 Viga 2.

Tabla J17: MOR viga V2T-120-3200 (2).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
303,50	23141,88	112,68	205,37

J.4.3 Viga 3.

Tabla J18: MOR viga V2T-120-3200 (3).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
238,50	18185,63	112,68	161,39

J.4.4 Viga 4.

Tabla J19: MOR viga V2T-120-3200 (4).

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
248,50	18948,13	112,68	168,15

*J.4.5 Viga 5.***Tabla J20: MOR viga V2T-120-3200 (5).**

Módulo de rotura			
Pmax [kg]	Mmax [kg*cm]	Wx [cm ³]	MOR [kg/cm ²]
372,00	28365,00	112,68	251,72

ANEXO K: GRÁFICOS DE CARGAS MÁXIMAS

En el presente anexo se muestran dos gráficos, en los cuales se indican las cargas máximas. En el primer gráfico se comparan las vigas V2T-150-5000 y V2T-120-5000, y en el segundo gráfico se comparan las vigas V2T-150-3200 y V2T-120-3200.

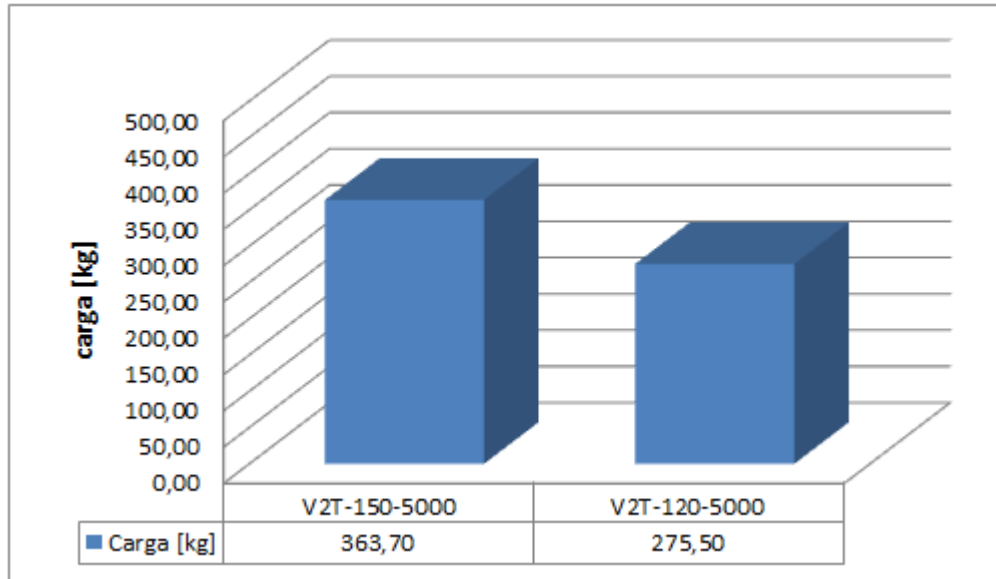


Figura K1: Gráfico de carga para V2T-150-5000 y V2T-120-5000.

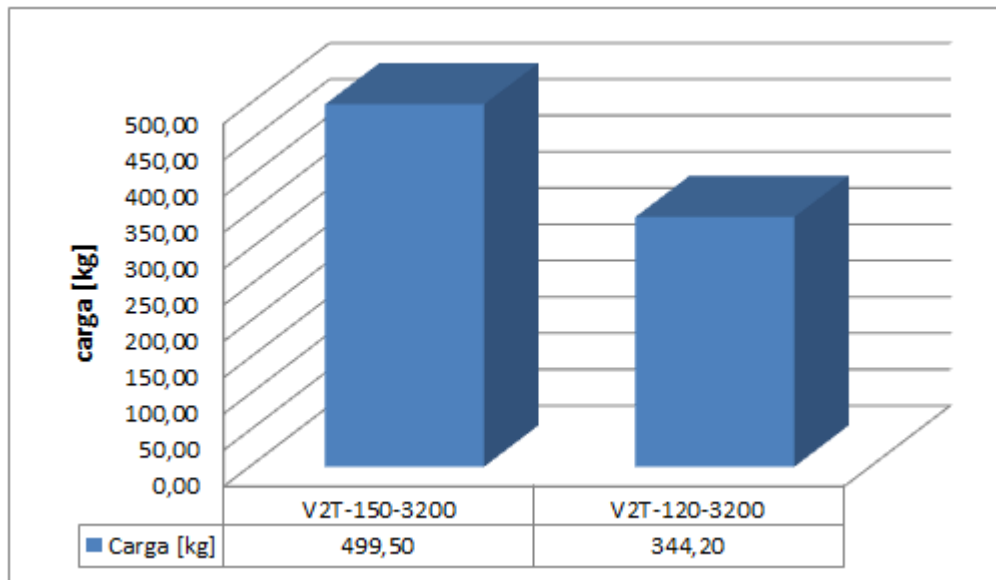


Figura K2: Gráfico de carga para V2T-150-3200 y V2T-120-3200.

ANEXO L: IMÁGENES DE LOS TIPOS DE FALLAS PARA CADA VIGA

En el presente anexo se muestran imágenes de los tipos de fallas que ocurrieron en cada viga, considerando las fallas primarias como también las secundarias.

L.1 V2T-150-5000.

L.1.1 Viga 1.



Figura L1: Alabeo antes de la fractura total.



Figura L2: Falla por fractura total (falla primaria).

L.1.2 Viga 2.



Figura L3: Falla por fractura total (falla primaria).



Figura L4: Falla por fractura total (falla primaria).

L.1.3 Viga 3.



Figura L5: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).



Figura L6: Unión finger-joint ala inferior (falla primaria) y superior (falla secundaria).

L.1.4 Viga 4.



Figura L7: Alabeo antes de la fractura total.



Figura L8: Falla por fractura total (falla primaria).

L.1.5 Viga 5.



Figura L9: Alabeo antes de la falla de la unión finger-joint del ala superior.



Figura L10: Falla de la unión finger-joint ala superior (falla primaria).

L.2 V2T-120-5000.

L.2.1 Viga 1.



Figura L11: Falla por fractura total (falla primaria).



Figura L12: Falla por fractura total (falla primaria).

L.2.2 Viga 2.



Figura L13: Alabeo antes de la fractura total.



Figura L14: Falla por fractura total (falla primaria).

L.2.3 Viga 3.



Figura L15: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).



Figura L16: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).

L.2.4 Viga 4.



Figura L17: Alabeo antes de la fractura total.



Figura L18: Falla por fractura total (falla primaria).

L.2.5 Viga 5.



Figura L19: Falla por nudo en el alma (falla primaria).



Figura L20: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla secundaria).

L.3 V2T-150-3200.

L.3.1 Viga 1.



Figura L21: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).



Figura L22: Falla por desprendimiento del alma (falla secundaria).

L.3.2 Viga 2.



Figura L23: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).



Figura L24: Falla por desprendimiento del alma (falla secundaria)

L.3.3 Viga 3.



Figura L25: Falla por fractura total (falla primaria).



Figura L26: Falla por fractura total (falla primaria).

L.3.4 Viga 4.



Figura L27: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).



Figura L28: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).

L.3.5 Viga 5.



Figura L29: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).



Figura L30: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).

L.4 V2T-120-3200.

L.4.1 Viga 1.



Figura L31: Falla por fractura total (falla primaria).



Figura L32: Falla por fractura total (falla primaria).

L.4.2 Viga 2.



Figura L33: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).



Figura L34: Falla por nudo en el ala inferior (falla primaria).

L.4.3 Viga 3.



Figura L35: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).



Figura L36: Falla de la unión finger-joint ala superior (falla secundaria).

L.4.4 Viga 4.



Figura L37: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).



Figura L38: Falla de la unión finger-joint ala inferior (falla primaria).

L.4.5 Viga 5.



Figura L39: Falla por desprendimiento del alma (falla primaria).



Figura L40: Falla por desprendimiento del alma (falla primaria).

ANEXO M: CARGA DE VIENTO Y COMBINACIÓN DE CARGA (COSTANERAS)

En el presente anexo se muestra la presión básica (construcciones situadas en la ciudad) para los 7 metros de altura, la cual se obtiene de la Nch 432 (1971), además se indican las combinaciones de carga para las costaneras horizontales.

M.1 Presión básica.

Considerando una altura de 7 metros se procede a calcular la presión básica a partir de la Nch 432 (1971), para ello es necesario realizar una interpolación con los valores de la tabla M1:

Tabla M1: Presión básica para distintas alturas.

altura [m]	Presión básica [kg/m ²]
0	55
7	q
15	75

$$\frac{75 - 55}{15 - 0} = \frac{x - 55}{7 - 0} \rightarrow q = 64,33 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

M.2 Carga de viento.

Para calcular la carga de viento que se ejerce sobre las costaneras horizontales, se utiliza la ecuación 9 descrita en el punto 3.5.5 del informe, y luego se evalúa si se produce presión o succión.

$$q * (1,2 * \text{sen}\theta - 0,4) = 64,33 * (1,2 * \text{sen}(0^\circ) - 0,4) = -25,73 \text{ [kg/m}^2\text{]} \rightarrow \text{succión}$$

M.3 Combinaciones de carga.

$$D = PPtecho$$

$$L_r = \text{Carga de uso}$$

$$W = \text{Carga de viento}$$

Tabla M4: Cargas.

Cargas		
PP techo	61,2	[kg/m ²]
SC	100	[kg/m ²]
W	-25,73	[kg/m ²]

Luego se realizan las combinaciones de carga y se identifica la más desfavorable.

$$1) D = 61,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$2) D + L = 61,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$3) D + (L_r \text{ o } S \text{ o } R) = 161,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$4) D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ o } S \text{ o } R) = 136,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$5a) D + W = 35,47 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$5b) D + E = 61,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$6a) D + 0,75W + 0,75L + 0,75(L_r \text{ o } S \text{ o } R) = 116,9 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$6b) D + 0,75E + 0,75L + 0,75S = 61,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$7) 0,6D + W = 10,99 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$8) 0,6D + L = 36,72 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

La combinación que controla es la 3 y posee un valor de 161,2 [kg/m²].