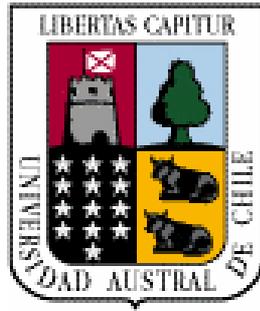


Universidad Austral de Chile



**Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Instituto de Obras Civiles
Escuela Construcción Civil**

**“ENSAYO DE TRES VIGAS DE INERCIA VARIABLE DE ALMA
LLENA ENTABLADA”**

Tesis para optar al grado de

Ingeniero Constructor

Profesor Guía:

Hernán Arnés Valencia

Ingeniero Civil

Francisco Javier Cuevas Urzúa

2007

La dedicación es más que un agradecimiento especial, es un reconocimiento a esas personas que colaboraron para desarrollarme como persona, con sus principios y amistad.

En mi vida han sido y son mis pilares; **coneja, la madre Cecilia; Cuevitas**, el padre y la labor de apoyo incondicional de mis hermanos **Topy, Andrés, Alfonso** y la hermanita **Berny**.

Checha, Lucia y Tito, Gracias por esa sensación que me acompaña a diario.

MADRE AHORA TIENES A TODOS TUS HIJOS PROFESIONALES, Y TU PRIMERA PROMESA YA ESTA HECHA...

AGRADECIMIENTOS

Concluyendo mi etapa de formación, agradezco la amistad y la ayuda de las personas importantes en mi vida, y que han sido un gran aporte para mi desarrollo personal en el rubro que escogí. En especial a don Federico Peña Morh, él sabe todo lo que significa para mí y recuerde que tarde o temprano estudiaré Arquitectura y don Renato Grez Zanelli, incondicional en aquellos consejos que siempre encuentro.

A mis profesores:

Luís Vásquez, quién me enseñó lo que más hago hoy en día: usar el AutoCAD, a don Heriberto Vivanco, que me mostró un mundo distinto en cada una de sus clases, aunque no permitiera fumar a sus alumnos; don Carlos Vergara y sus opiniones de mis proyectos, así como tantos otros que influyeron directamente en esta persona, como también lo hizo mi profesor patrocinante.

Amigos míos:

Como olvidar todas esas noches de estudio por un mismo objetivo. Hugo, Carlos, Zeta, Cristian, Rodrigo, Ale y otros, sin ellos las energías no estaban. Gracias Pablo Ignacio, Tomas, Pancho, Mauricio y a la Perri, you know; por lo que hemos logrado juntos.

RESUMEN

Esta investigación muestra el uso de maderas cortas, aplicables a vigas de alma llena e inercia variable entablada con madera aserrada. La hipótesis del aprovechamiento de la madera pasó a ser el ensayo de estos tres diseños de vigas, lo que permitió observar las características y el comportamiento de estos elementos estructurales.

Se diseña la viga de alma llena con maderas cortas, y se ensayan en el LEMCO (Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción). El método utilizado para la investigación es el “ensayo de flexión”, ya que este es el más característico para las vigas, y por ser elementos que trabajan a la flexo tracción.

Se realiza la evaluación de los resultados obtenidos a raíz del ensayo, y son comparativamente estudiados, obteniendo referencias del diseño, ventajas y desventajas frente a otros productos del mercado.

SUMMARY

This investigation shows the use of short wood applicable to beams of soul full of variable inertia begun with serrated wood; the hypothesis of the use of the wood happened to be the essay of these three designs of beams, what allowed to observe the characteristics and the behavior of these structural elements.

The beam of full soul is designed with short wood, and they practice in LEMCO (Test laboratory of Materials of Construction). The method used for the investigation is the essay of bending, since this one is the most typical for the beams, since they are elements that work to the bending-traction.

There is realized the evaluation of the results obtained immediately after the essay, and they are comparatively studied, obtaining references of the design, advantages and disadvantages opposite to other products of the market.

INDICE DE MATERIAS

| | | |
|--------------------|---|----------|
| Resumen | V | |
| Summary | V | |
| CAPITULO I | Generalidades | |
| 1.1 | Introducción | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.2.1 | Objetivos Generales | 2 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 2 |
| 1.3 | Reseña Histórica | 3 |
| CAPITULO II | Vigas de Alma Llena de Madera | 6 |
| 2 | Generalidades | 6 |
| 2.1 | Referencias a Normas | 7 |
| 2.2 | Clasificación de las Vigas de Madera | 8 |
| 2.2.1 | Aspectos generales | 8 |
| 2.2.2 | Clasificación según sección | 10 |
| 2.2.2.1 | Vigas llenas | 10 |
| 2.2.2.2 | Vigas Llenas laminadas | 11 |
| 2.2.2.3 | Vigas de Alma Llena | 12 |
| 2.2.2.4 | Vigas de Cajón | 13 |
| 2.2.2.5 | Vigas tensadas | 14 |
| 2.2.3 | Clasificación según perfil longitudinal | 15 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.2.3.1 | Viga de perfil constante | 15 |
| 2.2.3.2 | Viga de perfil variable | 16 |
| 2.3 | Vigas de alma llena entablada | 16 |
| 2.3.1 | Forma constructiva de las estructuras de madera con alma llena | 16 |
| 2.3.2 | Vigas compuestas de madera de alma llena | 18 |
| 2.3.3 | Relación Alma-Ala | 20 |
| 2.3.4 | Proposiciones Constructivas | 21 |
| CAPITULO III Esquema de diseño de la viga de alma llena e Inercia variable | | 25 |
| 3 | Datos Viga, Vistas y cortes | 26 |
| CAPITULO IV Ensayo de flexión | | 29 |
| 4.1 | Condiciones generales para los ensayos | 29 |
| 4.1.1 | Acondicionamiento de probetas | 29 |
| 4.1.2 | Ambiente para el ensayo | 29 |
| 4.1.3 | Registro de temperatura y humedad | 29 |
| 4.1.4 | Mediciones | 30 |
| 4.1.5 | Masa | 30 |
| 4.1.6 | Velocidad del ensayo | 30 |
| 4.1.7 | Calibración de equipos | 30 |
| 4.2 | Ensayo de flexión | 31 |
| 4.3 | Procedimiento de ensayo | 31 |
| 4.3.1 | Descripción del ensayo | 31 |
| 4.3.2 | Aparatos y equipos de laboratorio | 33 |

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| CAPITULO V | Resultados y Análisis de Resultados | 40 |
| 5.1 | Generalidades | 40 |
| 5.2 | Calculo de viga de alma llena e inercia variable entablada | 40 |
| 5.2.1 | Antecedentes generales | 40 |
| 5.2.2 | Imagen de la viga modelada por Sap 2000 | 41 |
| 5.3 | Hipótesis primarias | 47 |
| 5.4 | Especificaciones técnicas viga de alma llena e inercia variable entablada y ensayos | 47 |
| 5.4.1 | Imágenes elaboración viga de alma llena e inercia variable entablada | 49 |
| 5.4.2 | Ensayo de viga 1 | 53 |
| 5.4.2.1 | Antecedentes viga 1 | 53 |
| 5.4.2.2 | Antecedentes de cargas y pesos viga 1 | 54 |
| 5.4.2.3 | Antecedentes de deformación inicial viga 1 | 54 |
| 5.4.2.4 | Antecedentes de datos de ensayo viga 1 | 54 |
| 5.4.2.5 | Lecturas de medición viga 1 | 55 |
| 5.4.2.6 | Gráficos de datos viga 1 | 56 |
| 5.4.2.7 | Imágenes de ensayo viga 1 | 57 |
| 5.4.3 | Ensayo de viga 2 | 59 |
| 5.4.3.1 | Antecedentes viga 2 | 59 |
| 5.4.3.2 | Antecedentes de cargas y pesos viga 2 | 59 |
| 5.4.3.3 | Antecedentes de deformación inicial viga 2 | 60 |
| 5.4.3.4 | Antecedentes de datos de ensayo viga 2 | 60 |
| 5.4.3.5 | Lecturas de medición viga 2 | 60 |
| 5.4.3.6 | Gráficos de datos viga 2 | 61 |
| 5.4.3.7 | Imágenes de ensayo viga 2 | 62 |
| 5.4.4 | Ensayo de viga 3 | 64 |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| 5.4.4.1 | Antecedentes viga 3 | 64 |
| 5.4.4.2 | Antecedentes de cargas y pesos viga 3 | 64 |
| 5.4.4.3 | Antecedentes de deformación inicial viga 3 | 65 |
| 5.4.4.4 | Antecedentes de datos de ensayo viga 3 | 65 |
| 5.4.4.5 | Lecturas de medición viga 3 | 65 |
| 5.4.4.6 | Gráficos de datos viga 3 | 66 |
| 5.4.4.7 | Imágenes de ensayo viga 3 | 67 |
| 5.4.5 | Análisis Base estadística de tres ensayos de vigas | 69 |
| 5.4.5.1 | Tablas comparativas de cargas y deformación | 72 |
| 5.4.5.2 | Gráficos de base estadística | 74 |
| 5.4.6 | Estudio económico de viga de alma llena e inercia variable entablada | 76 |
| CAPITULO VI | Conclusiones | 77 |
| CAPITULO VII | Bibliografía | 82 |

INDICE DE CUADROS

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Lecturas de medición viga 1 | 55 |
| Tabla 2 | Lecturas y anotaciones medición ensayo viga 2 | 61 |
| Tabla 3 | Lecturas y anotaciones medición ensayo viga 3 | 65 |
| Tabla 4 | Cuadro comparativo de cargas y promedios por intervalos de viga 1 y viga 2 | 72 |
| Tabla 5 | Cuadro comparativo de deformaciones y promedio por intervalos por cada +/- 100 kg de viga 1 y viga 2 | 72 |
| Tabla 6 | Cuadro promedio de viga 1 con viga 2 | 73 |
| Tabla 7 | Cuadro comparativo de cargas máximas con promedio viga 1 y viga 2 | 73 |
| Tabla 8 | Cuadro comparativo de deformaciones máximas con promedio por carga máxima | 73 |
| Tabla 9 | Costo unitario viga sin IVA | 76 |
| Tabla 10 | Costo unitario viga con IVA | 76 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Tipos de Vigas. | 9 |
| | Figura 1a Vigas llenas. | |
| | Figura 1b Vigas Llenas laminadas. | |
| | Figura 1c Vigas de Alma Llena. | |
| | Figura 1d Vigas de cajón. | |
| Figura 2 | Forma/Elementos Viga Alma Llena. | 18 |
| Figura 3 | Vista Frontal y Posterior Viga Diseñada. | 26 |
| Figura 4 | Vista superior viga diseñada. | 27 |
| Figura 5 | Perfil viga diseñada. | 27 |
| Figura 6 | Corte A-A viga diseñada. | 27 |
| Figura 7 | Corte B-B Viga diseñada. | 27 |
| Figura 8 | Detalle de clavado | 28 |
| Figura 9 | Pistón Hidráulico | 33 |
| Figura 10 | Visor de Carga | 34 |
| Figura 11 | Compresor | 34 |
| Figura 12 | Celda de carga | 35 |
| Figura 13 | Mangueras Hidráulicas | 36 |
| Figura 14 | Tecele | 36 |
| Figura 15 | Estructura soporte pistón | 37 |
| Figura 16 | Plataforma de ensayo | 37 |
| Figura 17 | Apoyos para vigas | 38 |
| Figura 18 | Huincha metálica | 38 |
| Figura 19 | Cuaderno de anotaciones | 39 |
| Figura 20 | Imagen maderas a utilizar para vigas | 49 |
| Figura 21 | Imagen detalle de piezas de maderas a utilizar | 49 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 22 | Imagen armado plantilla y trazado | 49 |
| Figura 23 | Imagen plantilla de alma | 50 |
| Figura 24 | Imagen viga 3 por un lado con alas | 50 |
| Figura 25 | Imagen trazado plantilla viga 1 | 50 |
| Figura 26 | Imagen trazado en apoyos de viga | 51 |
| Figura 27 | Imagen trazado plantilla vértice $L/2$ viga | 51 |
| Figura 28 | Imagen clavado de alas | 51 |
| Figura 29 | Imagen de unión en vértice $L/2$ de viga | 52 |
| Figura 30 | Imagen de unión en extremos de viga | 52 |
| Figura 31 | Imagen de vigas sobre plantilla de construcción | 52 |
| Figura 32 | Imagen de viga con su constructor | 53 |
| Figura 33 | Grafico de datos viga 1 | 56 |
| Figura 34 | Imagen medición inicial deformación viga 1 | 57 |
| Figura 35 | Imagen sistema de coplas para carga de viga 1 | 57 |
| Figura 36 | Imagen anotaciones de lecturas | 57 |
| Figura 37 | Imagen del pistón de carga con viga | 58 |
| Figura 38 | Imagen separación de uniones en viga 1 | 58 |
| Figura 39 | Imagen separación de uniones de alma de viga 1 | 58 |
| Figura 40 | Grafico carga vs deformación acumulada ensayo viga 2 | 61 |
| Figura 41 | Imagen medición inicial deformación viga 2 | 62 |
| Figura 42 | Imagen de apoyos viga 2 | 62 |
| Figura 43 | Imagen de sistema de aplicación de carga en viga 2 | 62 |
| Figura 44 | Imagen viga flexionada en $L/2$ de viga 2 | 63 |
| Figura 45 | Imagen de flexión de viga 2 | 63 |
| Figura 46 | Imagen falla de uniones de alas en viga 2 | 63 |
| Figura 47 | Grafico carga vs deformación acumulada ensayo viga 3 | 66 |
| Figura 48 | Imagen carga viga 3 | 67 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 49 | Imagen alma viga 3 | 67 |
| Figura 50 | Imagen separación alma viga 3 | 67 |
| Figura 51 | Imagen separación unión de ala viga 3 | 68 |
| Figura 52 | Imagen separación unión de alma y ruptura de ala de viga 3 | 68 |
| Figura 53 | Imagen ruptura de ala de viga 3 | 68 |
| Figura 54 | Grafico comparativo de cargas vs deformaciones de vigas | 74 |
| Figura 55 | Grafico comparativo de promedio de viga 1 y viga 2 | 75 |

INDICE DE ANEXOS

| | | |
|----------------|---|-----------|
| ANEXO 1 | Diseño de una Viga de Alma Llena e Inercia Variable | 1A |
| 1 | Consideraciones de diseño | 1A |
| 1.1 | Generalidades | 1A |
| 1.2 | Bases de Diseño | 2A |
| 1.3 | Cargas y combinaciones de ellas | 3A |
| 1.4 | Contenido de humedad | 4A |
| 1.5 | Documentos de proyecto de diseño | 5A |
| 1.5.1 | Memoria de calculo | 5A |
| 1.5.2 | Dibujos técnicos (planos) | 5A |
| 1.5.3 | Especificaciones | 6A |
| 1.5.4 | Designaciones | 6A |
| 1.6 | Flexión en vigas de alma llena entabladas | 6A |
| 1.6.1 | Flexión uniaxial en vigas compuestas | 9A |
| 1.6.2 | Tensión de diseño en flexión | 15A |
| 1.6.3 | Tensiones admisibles y módulos elásticos para madera aserrada | 16A |
| 1.6.4 | Elementos en compresión paralela | 18A |
| 1.6.4.1 | Longitud efectiva de pandeo, l_p | 18A |
| 1.6.4.2 | Restricciones de esbeltez | 19A |
| 1.6.4.3 | Tensión de Diseño | 20A |
| 1.6.5 | Elementos en Tracción paralela | 20A |
| 1.6.5.1 | Tensión de trabajo | 20A |

| | | |
|----------------|---|-----|
| Anexo 2 | Factor de modificación por contenido de humedad | 22A |
| Anexo 3 | Factor de modificación por duración de carga | 24A |
| Anexo 4 | Factor de modificación por trabajo conjunto | 25A |
| Anexo 5 | Factor de modificación por altura | 26A |
| Anexo 6 | Observaciones comparativas de vigas de textos citados | 27A |

CAPITULO I - Generalidades

1.1 Introducción

Frente a la actualidad, en la producción, elaboración y construcción en Madera, el producto aserrado es uno de los elementos más utilizados en la construcción de viviendas y estructuras de menor grado. Dentro de esto poseemos distintos medios constructivos en el campo de aplicación, como lo son las vigas de Madera, pero existe la inquietud del aprovechamiento de las pérdidas de Madera en distintos procesos; de este punto de vista la hipótesis de la aplicación de un sistema de viga de alma llena en maderas cortas.

En construcción con piezas de madera, en la mayoría de los casos, se desperdician grandes cantidades de dicho material, por lo cual sería, muy conveniente, que se estudiaran más a fondo los diferentes usos que se le pueden asignar a dichos elementos útiles en otras prácticas estructurales.

El diseño, construcción y ensaye de unas vigas de alma llena entablada, genera incógnitas las que serán evaluadas en esta investigación.

La utilización del aprovechamiento de maderas usadas en moldajes que después son eliminados es una incógnita a evaluar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Como objetivos generales es encontrar el simple uso de maderas cortas no aprovechables en la construcción, en la elaboración de una viga de alma llena.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar, fabricar y ensayar una viga de alma llena con maderas cortas y alas de madera aserradas sin traslapos de uniones para evaluar su comportamiento.
- Comparar la viga construida con otros tipos de vigas de madera.
- Conclusiones derivadas de los resultados obtenidos de los ensayos.
- Comparación de maderas usadas en moldajes para confección de vigas y maderas aserradas sin uso previo.

1.3 Reseña Histórica

La madera es un material orgánico natural y con una estructura celular; se llama madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, las Raíces y las Ramas, de los vegetales leñosos, excluidas de la corteza. Estas se clasifican en madera de coníferas y maderas frondosas. Las coníferas son especies pertenecientes al orden coníferales (Abetos, píceas, alerces, cedros, pinos, etc.) que pertenecen a las gimnospermas. Las frondosas son especies leñosas pertenecientes a las angiospermas dicotiledóneas (roble, ulmo, encina, etc.).

Pocos materiales poseen la capacidad de evocación de la madera. Durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades y, aún en nuestros días, tipologías ancestrales continúan siendo válidas. La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción de viviendas, herramientas para cazar, fabricación de utensilios, etc. Después fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde el siglo XX a.c. y hasta el siglo XIV d.c; donde al descubrirse nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera, disminuyeron en gran medida el uso de ésta.

"La madera ha sido el material casi exclusivo para la estructura de los forjados horizontales hasta el s. XIX. Su capacidad para trabajar a flexo compresión, junto a su accesibilidad, han sido sin duda, los factores determinantes".

Colocar maderos, más o menos juntos, sobre la coronación de dos paredes separadas, no requiere ninguna ciencia, de ahí que esta estructura se encuentre ya en las primeras viviendas de la antigüedad. Conforme la distancia entre las paredes se hacía mayor, era preciso recurrir a distintos órdenes de maderos, y así nacieron los sistemas de vigas y viguetas, con lo que resultaban soluciones más económicas. Puesto que el momento resistente de las secciones requeridas aumenta con el cuadrado de la luz salvada; crear distintos órdenes implicaba reducir el número de vigas de gran escuadría, difíciles de obtener y manejar.

De la antigüedad al presente, las necesidades generadas por las condiciones de uso del ser humano, ha permitido idear, diseñar y fabricar varios métodos y productos constructivos, destinados a cumplir dichas necesidades expuestas por el humano en el periodo de desarrollo del mismo. La utilización de la madera en vigas, viene del aprovechamiento de mayores luces en una construcción, y a raíz de esta misma nace la inquietud de idear otros tipos de vigas, como de cajón, de alma llena entre otras, con las cuales se pueden cubrir mayores luces dentro de un espacio habitable.

Uno de los pioneros en la técnica de los encofrados de madera fue el Ingeniero Diplomado Alemán Manfred Steidle-sailer, de Sigmaringen. Propietario de una empresa constructora y de un magnífico taller de carpintería, en el cual, en 1956 produjo la primera viga de madera encolada en celosía, que empleo inmediatamente en su citada empresa constructora, fundada por la familia Steidle en 1821. Naturalmente que el citado Ingeniero hizo muchas pruebas con diversas soluciones con el fin de encontrar la mejor, así es como llegó a las vigas de alma llena poniéndolas a prueba del personal de la empresa constructora.

Así, desde tiempos remotos el hombre ha recurrido a la madera para usos de tipo doméstico, entre los cuales el más antiguo es el de utilizarla como combustible. En la actualidad se consumen 3.500.000.000 de metros cúbicos de

madera en el mundo; de ellos, el 56% es destinado a calefacción y cocción de alimentos. El 44% restante se destina a la construcción de viviendas, usos industriales, mobiliario, utensilios de diverso tipo y a la fabricación de papeles, cartulinas y cartones. Hoy en día existen más de 10.000 productos de uso cotidiano que provienen de la madera.

CAPITULO II – Vigas de Alma Llena de Madera

2 Generalidades

Todo sistema estructural esta constituido por un conjunto de elementos que interactúan entre sí, asegurando la estabilidad del conjunto y trasladando a los apoyos las características que soporta. Dentro de este conjunto, existen elementos que cumplen funciones de características similares y que permiten agruparlos bajo términos geométricos, como los pilares, las vigas, las diagonales, las barras arriostrantes y otros. En la mayoría de los casos, estos elementos constituyen una parte de la totalidad del conjunto estructural y sólo cumplen su función en la combinación entre ellos.

A pesar de esto es posible aislar, para su análisis, cada uno de los elementos, ya que cumplen funciones estructurales especificas y además, en algunos casos, se presentan en la construcción como elementos aislados. Uno de los componentes básicos que integran un sistema constructivo es la viga, cuya función específica es salvar luces, es decir, dejar un vano o distancia entre dos o más apoyos consecutivos.

La mayoría de las topologías estructurales en madera están constituidas por barras, (pilares-vigas), cerchas, arcos, etc. Las vigas en madera, no se reducen solamente a los típicos envigados de piso.

Una de las características de las vigas es que una de sus dimensiones (el largo) predomina sobre las otras dos (ancho y alto). Normalmente las vigas se utilizan en posición horizontal, pero en techumbres especialmente se encuentran en forma inclinada.

Debido al crecimiento del árbol, los productos madera aserrada coinciden en su forma, con las dimensiones propias de las vigas, pero a la vez les fijan limitantes en el ancho, alto y largo que cada especie tiene.

Tanto desde el punto de vista constructivo como estructural, el tema de las vigas de madera es amplio, de modo que no se puede agotar las cantidades de diseños necesarios para cumplir las limitancias estructurales, inclusive con los modelos ya existentes.

2.1 Referencia a Norma

Las normas referentes al diseño y cálculo de estructuras en madera aparecen en la norma Nch 1198, (Oficial 2006). Madera-Construcciones en Madera-Cálculo, legisla sobre el cálculo y la materialización de elementos y estructuras de madera en general. Con respecto a vigas dice:

En el punto 7.2 “Elementos de Flexión” se refiere al diseño de elementos simples de madera aserrada sometidos a flexión, los ítems más importantes a considerar son:

- Dimensionamiento por resistencia
- Control de flecha máxima
- Empalmes
- Luz efectiva
- Volcamiento
- Cizalle
- Rebajes de apoyos

En el punto 7.2.5 se indica como diseñar vigas compuestas (de alma llena). En el punto 7.2.6 se dan las bases para diseñar vigas de alma llena entabladas.

La ordenanza general de construcción y urbanismo establece un dimensionamiento mínimo para las vigas de un entramado horizontal y para las vigas principales, secciones que son válidas siempre que se cumplan las condiciones señaladas en la ordenanza general.

2.2 Clasificación de las Vigas de Madera

2.2.1 Aspectos generales

Como clasificar significa agrupar elementos de características comunes, en el caso de las vigas de madera se podrían proponer diversas clasificaciones, dependiendo de la característica que se elija como la base del ordenamiento. La clasificación que a continuación se entrega, responde sólo a la finalidad práctica; visualizar las múltiples formas y usos posibles de obtener con el material madera en su comportamiento como viga.

Una viga trabaja principalmente a la flexión y corte en posición horizontal y puede estar sometida además a esfuerzos de tipo axial, tracción o compresión, dependiendo de las cargas que la soliciten y de la inclinación que tenga. Esto significa que una sección de una viga soporta diferentes esfuerzos, siendo posible optimizar la forma de la sección según estos esfuerzos, concentrando las partes más importantes del material, en los cordones superiores e inferiores, por ejemplo.

Esta posible adaptación de la sección de una viga de madera a los esfuerzos que soporta, nos permite una primera clasificación de acuerdo a la sección en:

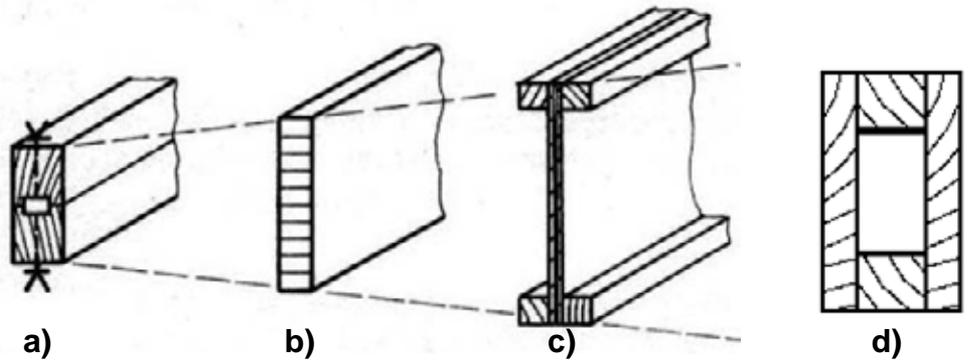


FIGURA 1
Tipos de Vigas

- Vigas Llenas (Figura 1a)
- Vigas Llenas laminadas (Figura 1b)
- Vigas de Alma llena (Figura 1c)
- Vigas de Cajón (Figura 1d)
- y Vigas tensadas.

También es posible combinar secciones de vigas entre sí.

Las variables que permiten una segunda clasificación se relacionan con la forma en que se apoya una viga, o sea, como esta transmite las cargas al resto del sistema estructural. Considerando el tipo y número de apoyos, las vigas se pueden clasificar, en Vigas simplemente apoyadas, Vigas empotradas y vigas continuas.

Una tercera clasificación considera el perfil longitudinal de la viga, o sea, las variaciones que tiene la sección a través de la longitud, a saber: perfil longitudinal constante y perfil longitudinal variable.

Si se dimensiona una viga en todo su largo según la sección crítica determinada por los esfuerzos máximos, no se aprovecharía bien el material al mantener constante la sección. Esto conduce al diseño de vigas cuyas secciones

varían en función de los valores de los esfuerzos, lo que dependerá del tipo de apoyo y de la distribución de las cargas.

2.2.2 Clasificación según Sección

2.2.2.1 Viga Llena

Corresponden a esta clasificación las piezas de madera aserrada en bruto que mantienen una proporción entre el alto y ancho no mayor a $1/8$ (uno es a ocho). La forma habitual de su sección es rectangular, pero también se utiliza en forma cuadrada o en su estado original, como rollizos.

Una viga trabaja mejor con su canto mayor en posición vertical, pero es necesario mantener una relación entre altura y ancho, evitando piezas excesivamente altas y esbeltas. Como norma general, se recomienda que las proporciones entre alto y ancho, fluctúen entre $h=4b$ hasta $h=8b$. El tipo de esfuerzo al que trabajan es de flexión, lo que significa que para una viga simplemente apoyada y con una carga vertical, se producen compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior, considerando la mitad de la viga como el plano neutro.

En la construcción su uso más frecuente es en entramados de piso, de cielo, tijerales y costaneras. El largo de las luces que es capaz de salvar esta dado principalmente por el largo comercial (3,20 a 5,00 Mt.).

Su sección es constante, lo que implica un perfil longitudinal recto, y significa un aprovechamiento parcial del material, ya que la escuadría determinada por el cálculo considera los valores máximos de flexión, corte o deformación. Esto significa que casi la totalidad de la viga esta sobredimensionada.

2.2.2.2 Vigas Llenas Laminada.

La viga llena laminada está conformada por lámelas de 19 a 30 mm. de espesor, unidas por sus caras mediante adhesivos. Normalmente su sección es rectangular, al igual que la mayoría de las vigas llenas, con la ventaja de no tener limitantes en el alto, ancho y largo. Para lograr los largos deseados, se deben unir las tablas por uniones dentadas (Finger-Joint). Las vigas laminadas tienen normalmente un ancho entre 90 y 190 mm., si este fuera mayor, deben colocarse varias lámelas por cada hilera, traslapadas sus uniones longitudinales con respecto a las hileras contiguas en un mínimo de dos espesores de lámela.

Considerando que las mayores tensiones (flexión), están concentradas en los bordes (superior e inferior) es recomendable que las maderas de mejor calidad se ubiquen en estas áreas. Por el contrario, hacia el eje neutro, la calidad de la madera puede ser inferior, e incluso es posible perforar la viga en esta zona, para dejar pasar tuberías de instalaciones a través de ella. Estas perforaciones sólo pueden efectuarse en tramos que no están solicitados por cargas puntuales y en los que el esfuerzo de corte sea bajo. Es recomendable reforzar los bordes de las perforaciones, colocando a ambos lados una pieza de madera de, por lo menos, 10 mm. de espesor.

El uso de la viga llena laminada es muy amplio, por sus ventajas comparativas con la viga llena: secciones y largos no restringidos al tamaño de la materia prima y mayor certeza en su comportamiento estructural posterior por estar sometida a control de calidad.

Su principal desventaja es la dificultad del uso de vigas laminadas expuestas a la intemperie, debiendo en estos casos, tomar precauciones adecuadas.

2.2.2.3 Vigas de Alma Llena

Las vigas de alma llena pertenecen a la categoría de vigas compuestas. Se caracterizan por su forma, que concentra madera en los extremos de su sección, denominándose estas partes cordón superior e inferior. El material que une ambos cordones conforma el alma. Este tipo de viga puede construirse utilizando diferentes materiales, tales como madera aserrada, laminada o placas, especialmente de contrachapado. También pueden tomar diferentes perfiles: alturas constantes, variable superior, inferior o variable en ambos sentidos.

Las vigas de alma llena son la resultante de un mejor aprovechamiento de la madera, de acuerdo a los esfuerzos de flexión. Esta característica se traduce en bordes con mayores dimensiones que en el centro (alma). Para prevenir el posible pandeo, por la esbeltez del alma, se hace recomendable rigidizarla a un distanciamiento modular adecuado por medio de montantes verticales ubicados a ambos lados.

Su uso mas frecuente es como vigas principales en construcciones de entramados, por tener perfiles horizontales y proveer superficies de apoyo adecuadas en su parte superior e inferior para envigados secundarios o para pisos y cielos.

2.2.2.4 Vigas de Cajón

Son vigas de sección rectangular cuyos cordones superiores e inferior están unidos lateralmente por ambos costados, mediante placas de madera o entablado en diagonal. Su altura generalmente es constante. Están constituidas por cordones de madera aserrada con uniones dentadas o por madera laminada. Las placas laterales pueden ser tableros de partículas, de fibras, de contrachapado o de laminado, siendo estas dos últimas las modalidades más usuales por su mayor resistencia en el plano de su superficie.

Las formas de unir las placas a los cordones, son el clavado o el uso de adhesivos, siendo esta ultima la más usual. También, al igual que en el caso de las vigas de alma llena, es necesario evitar el pandeo lateral de las placas de revestimiento, para lo cual se intercalan montantes cada cierta distancia.

Este tipo de viga tiene múltiples aplicaciones en la edificación, especialmente para luces entre 10 y 18 metros. En estructuras mayores es recomendable usar vigas de cajón, de cordones y placas laterales laminadas, que aseguran una conveniente resistencia al pandeo. Las vigas de cajón son armadas en base a adhesivos y pernos como el elemento de unión de las partes.

Una de las características de estas vigas es su sección rectangular y, por tanto, su perfil liso, que le da una apariencia de gran macicez, a pesar de que son huecas.

2.2.2.5 Vigas Tensadas

La característica fundamental de este tipo de viga, es que separa el cordón superior (que sigue trabajando como viga de madera) del inferior, que toma solamente los esfuerzos de tracción. Eso permite hacer claramente visibles los esfuerzos que absorben las diferentes partes de una sección y los diferentes sectores del perfil de ella.

Es el único tipo de viga de madera en el que parte de los esfuerzos son tomados por un elemento metálico, el tirante, aunque este, en vigas de menor luz, también pueden ser de madera aserrada o laminada. Para lograr la separación del elemento fraccionado de la viga de madera, se intercalan montantes que transforman a la viga superior en una viga continua de apoyos intermedios móviles. Es posible clasificar este tipo de vigas de acuerdo al número de montantes, como también, de acuerdo al material usado para las diferentes partes que lo constituyen.

Además debe tenerse una precaución especial en el diseño de la unión del tensor con la viga de madera, lo que se logra por medio de herrajes especialmente calculados para resistir los esfuerzos de tracción.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta en este sistema constructivo es su arriostramiento horizontal, que tiene que ser perpendicular al perfil de la viga, y aplicado en el extremo inferior de los montantes para evitar el desplazamiento lateral del tensor. Esta fuerza horizontal es de $1/50$ a $1/70$ de la fuerza, que toma el tensor en el punto de aplicación del arriostramiento.

2.2.3 Clasificación según perfil longitudinal

2.2.3.1 Viga de perfil constante

El tipo de viga de madera de más frecuente uso en la construcción, es la viga de altura continua o perfil constante. Este elemento estructural se caracteriza por ser de la misma dimensión en todo su largo. Esto significa que, desde el punto de vista de los esfuerzos, no todas las secciones están solicitadas al máximo. En el caso de vigas aserradas, la modificación de la altura constante significa pérdida de material, debido a la imposibilidad de aprovechamiento de los recortes, por lo tanto, es plenamente justificable el empleo de vigas de perfil constante. También en la construcción es frecuente que las condicionantes del diseño exijan horizontalidad del canto superior y del inferior, para la colocación de pisos y cielos.

En todos los tipos de vigas (llenas aserradas, llena laminada, alma llena y de cajón), las de perfil constante son las que se usan con mayor frecuencia, exceptuando las vigas tensadas que siempre tienen un canto no paralelo al otro.

La sección de la viga de perfil constante se determina considerando el máximo momento flector y el máximo esfuerzo de corte (dimensionamiento por resistencia) o controlando la máxima deformación admisible (dimensionamiento al estado límite de servicio). En todos los demás puntos en donde no se produce la sollicitación máxima, la viga queda sobredimensionada. A pesar de ello suele ser la solución más económica.

2.2.3.2 Viga de perfil variable

El mejor aprovechamiento del material a partir de una respuesta de dimensionamiento consecuente con la variación de los esfuerzos internos, induce a soluciones de vigas con cantos que no son paralelos. Esta característica propia de las vigas tensadas es posible de lograr también en vigas laminadas, de alma llena y de cajón. Dentro de estos tipos de vigas, el más dúctil y adaptable es el laminado que puede ir variando su perfil con facilidad. En el caso de las vigas de cajón o alma llena, las más frecuentes son las de una o dos inclinaciones, del canto superior, especialmente adecuadas para estructuras soportantes de techumbres. Las vigas con el canto inferior inclinado son aplicables como entramado de piso.

Este tipo de vigas es el de uso más generalizado en estructuras mayores, en las que se justifica el mayor costo de elaboración, siendo compensado el menor requerimiento de material.

2.3 Vigas de Alma Llena Entablada (ó Viga Compuesta de Madera Con Sección Doble T)

2.3.1 Forma constructiva de las estructuras de madera con alma llena

De la misma manera que, muchas veces, en las construcciones metálicas, en lugar de almas de celosía se colocan planchas que hacen de alma llenas entre los cordones de las vigas y que se remachan o sueldan a ellos. También se emplean en las construcciones de madera las vigas y armaduras con almas llenas hechas de tableros o lacas que se clavan o encolan entre los cordones o sobre ellos.

El consumo de materiales y de mano de obra que ocasionan las estructuras compuestas con alma llenas es siempre más elevado que en las estructuras de celosía. Si a pesar de ello se construyen con frecuencia armaduras y vigas de madera de alma llena, es debido principalmente, a su aspecto claro y tranquilizador y a la posible reducción de altura en la viga o armadura, que, según el modelo que se elija, puede llegar a ser de un 25 a un 50%, respecto de las estructuras de celosía. Se gana así altura libre en el local o es posible hacer menos alto el edificio, de manera que se puede compensar total o parcialmente el mayor coste de las armaduras. Además es posible, por ejemplo, en armaduras, emplear madera delgada y corta para el alma, en lugar de las maderas de alta calidad que necesariamente requieren las diagonales en las estructuras de celosía. Otra de las ventajas es la mayor rigidez de las vigas de alma llena, que hace que baste darles, al construirla, un peralte de $1/250$ a $1/200$ de la luz. La altura más económica de estas vigas viene a ser de $1/12$ a $1/11$ de la luz.

Se construyen preferentemente vigas-armaduras con cordones paralelos y con cordones inclinados y también pórticos sencillos, pero rara vez armaduras o cuchillos triangulares. Como elementos de enlace se emplean clavos, cola, llaves o clavijas y pernos. Sus secciones pueden ser de doble T, de cajón o tubular y de doble T hueca, de las que cada clase puede hacerse según diversidad de tipos.

Los cordones de las vigas pueden ser maderas escuadradas, tablas u hojas formando tableros. Las almas de las vigas pueden estar hechas de tabla o de placas. Para las almas hechas de placas, se emplean tableros contrachapados que economizan mucha madera, placas duras homogéneas y también placas de hojas de madera, encoladas.

Además de las estructuras resistentes con cordones y almas se construyen otras de madera encolada y sección rectangular maciza, que pueden utilizarse como vigas, arcos pórticos. Ciertamente requieren mucha madera, pero pueden

construirse con medios sencillos llegando a las secciones que se desee y partiendo de tablas de cualquier longitud.

2.3.2 Vigas compuestas de madera de alma llena

Cuando se juntan dos tableros con las direcciones de las tablas cruzadas para formar un alma de viga y se encepnan por sus bordes con cordones formados cada uno por dos piezas se obtiene una viga de forma de doble T. una vez clavadas, esta estructura trabaja como una celosía de diagonales cruzadas, de malla muy estrecha. Las fuerzas normales que se producen por efecto de la flexión son, también en este caso, absorbidas únicamente por los cordones; el alma no tiene participación en dicha resistencia. Los tableros que forman el alma se clavan entre sí, en los puntos de cruce, de manera que las tablas que trabajan por tracción afiancen las que trabajan por compresión y las aseguren contra el pandeo. Las barras verticales, sobre todo en las vigas de poca altura, no son indispensables, pero siempre resultan convenientes para la repartición de las cargas concentradas por toda la altura del alma y como arriostramiento.

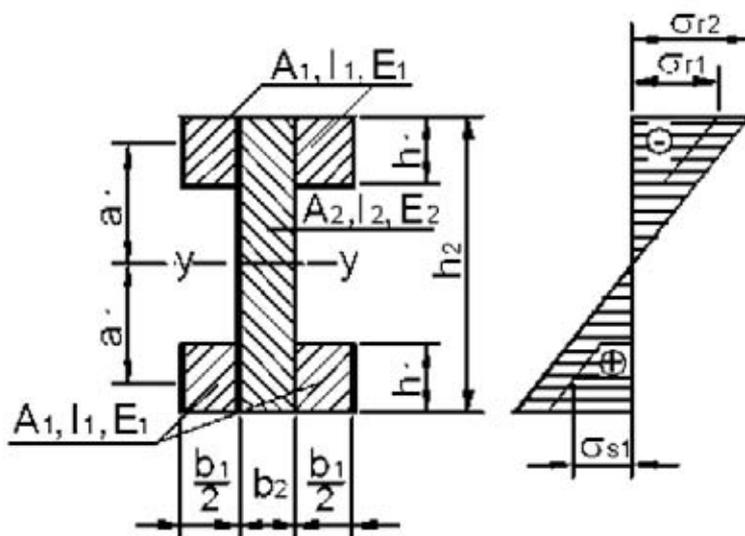


FIGURA 2
Forma / elementos Viga Alma Llena

Si las piezas de los cordones y de los tableros que forman el alma vienen a ser del mismo espesor pueden clavarse de manera que los clavos trabajen con dos secciones de cortadura. Sin embargo, las piezas de los cordones suelen ser más gruesas que el alma y requieren clavos mas largos y de un grueso que fácilmente tienden a rajan las tablas del alma, que resultan para ellos demasiados delgados. Como, el grueso de los clavos siempre debe elegirse de acuerdo con el menor de los espesores de madera que deben clavar, es indispensable preparar previamente la viga en dos mitades, clavando cada tablero con los clavos trabajando según una sola sección, contra una de las mitades de cada cordón. Clavando luego las tablas cruzadas de ambos tableros para formar el alma, así como los montantes de arriostramiento, las tablas de recubrimiento de los cordones y poniendo algunos pernos o tornillos en el cordón comprimido quedan ligadas las dos medias vigas entre sí. Si el trabajo se efectúa con pulcritud, esta construcción de la viga requiere más mano de obra que la viga hueca.

Si la viga doble T con alma de tableros cruzados se acopla mediante encolado, puede admitirse, siempre que la calidad de la madera sea suficientemente buena, que el alma absorbe parte de los esfuerzos normales producidos por la flexión. Esta solución se aproxima a la de las vigas formadas con placas de alma, capaces de participar en la resistencia de las tensiones debidas a la flexión. Sin embargo, en el presente caso, al determinar los momentos de inercia sólo hay que contar con la mitad (como máximo) de la sección del alma, porque las fuerzas normales actúan sobre la madera del alma con un ángulo de 45° respecto a la dirección de la fibras.

Cuando para la construcción de una de estas vigas, sólo se dispone también de tablas para la formación de los cordones, no hace falta ya el montaje en dos mitades si no que pueden clavarse todas las uniones por la parte exterior y hacer que parte de los clavos trabajen con varias secciones de contaduría. No obstante, siempre resulta un inconveniente el mayor trabajo de clavado y la mayor

cantidad de madera y clavos que se necesitan. Cuando más se separan de la verticalidad central del alma las tablas que forman los cordones tanto menos contribuyen al momento de inercia.

2.3.3 Relación Alma-Ala

La función del alma es resistir el esfuerzo cortante en la viga. La distribución de este esfuerzo cortante en el alma es casi uniforme, en toda la altura de la misma. La altura de la viga se elige generalmente de $1/12$ a $1/15$, si es posible, de la longitud de la luz. Las vigas de alma llena con una altura menor que $1/20$ de la luz deben tener esfuerzos reducidos en sus alas para evitar una flecha excesiva.

Las almas de las vigas de alma llena se pueden romper de uno de los tres modos siguientes:

- Por esfuerzo cortante longitudinal o vertical del alma.
- Por pandeo del alma debido a la compresión oblicua procedente de esfuerzos cortantes.
- Por pandeo vertical del alma, en los puntos de aplicación de cargas concentradas.

Así, el papel de las alas es de resistir el par de esfuerzos interiores que es igual y contrario al par de las fuerzas exteriores, esto es: el momento de flexión.

Como el par de las fuerzas interiores es igual al momento de flexión, podemos deducir el esfuerzo total en cada ala dividiendo el momento de flexión por las distancias entre los centros de gravedad de las alas.

2.3.4 Proposiciones constructivas

La viga es uno de los elementos básicos de todo sistema estructural y, requiere de apoyos, ya sean laterales o intermedios. Los apoyos: pilares, muros, tabiques, cimientos, etc., son en su función, independientes de la viga y cumplen, entre otras finalidades la de recibir las cargas que ella le transmite.

Las vigas siempre están solicitadas por cargas externas que son equilibradas por las reacciones en los apoyos. Las fuerzas internas que se generan en la viga, debido a cargas que actúan sobre ella (peso propio y sobrecarga), hacen necesario que la madera a utilizar pueda cumplir con esta función estructural adecuadamente. La gran variedad de especies, sus variaciones dimensionales y los defectos propios del material, exige seleccionar la madera teniendo presente las solicitaciones a que está sometida una viga. Especial cuidado hay que tener, en que las partes traccionadas no presenten defectos, como nudos o rajaduras. Toda viga de madera aserrada debe cumplir con las condiciones de clasificación del grado estructural correspondiente, según las solicitaciones a que está expuesta. Además del material en sí y su dimensionamiento adecuado, es importante resolver los apoyos y los nudos. Ambos vínculos deben ser diseñados teniendo presente las tensiones y/o cargas que deben transmitir, ya sea a otro elemento de la viga o el apoyo. En construcciones menores las soluciones constructivas de unión son simples, y se realizan principalmente en base a clavos y suples de madera, pero en estructuras mayores se requiere un diseño de conexiones adecuadas y más complejas (placas perforadas, dentadas, conectores, anillos, pasadores, etc.)

En la actualidad existe una gran variedad de placas conectoras perforadas y es recomendable emplearlas en reemplazo del clavado directo, porque garantizan la ubicación precisa de cada elemento mecánico de unión. Con la utilización de estos elementos, el buen comportamiento estructural de una obra no

dependerá de la mayor o menor experiencia de la obra de mano, debido a que las posibilidades de una realización defectuosa se minimizan.

Con respecto a los herrajes, es conveniente que estos estén muy bien protegidos contra la oxidación, ya sea por medio de pinturas protectoras, galvanizado, o empleo de acero inoxidable. La poca accesibilidad que tienen estos herrajes una vez terminada la construcción, hacen recomendable tomar este tipo de precauciones, especialmente en climas húmedos y salinos.

Existen múltiples soluciones tipológicas de vigas, apoyos y nudos, y será el diseñador el que deberá elegir el sistema adecuado para cada caso.

Una viga de sección llena, absorbe esfuerzos diferentes, dependiendo de la distancia que se encuentre en relación al eje neutro:

El esfuerzo de corte es mayor, mientras más cerca del eje se encuentre. Por otro lado, las tensiones debido a la flexión, aumentan hacia los bordes (superior e inferior), a medida que se alejan del eje neutro.

Por este motivo resulta mucho más favorable el uso de una viga doble T, que concentra material en los bordes, o sea, en las zonas solicitadas a la compresión y tracción y, además disminuye el alma, ajustándose al ancho necesario para tomar los esfuerzos de corte.

Estas vigas doble T en madera están conformadas por uno o dos cordones en la parte superior e inferior y por un alma central, que le proporciona la altura. Los cordones se confeccionan de madera aserrada, con uniones dentadas o de madera laminada. El alma puede estar elaborada por un entablado doble en diagonal o por placas. Con esta finalidad se pueden usar placas de fibra, de partículas o contrachapado, siendo este último material el más resistente y por tanto el más adecuado.

Debido a la esbeltez de la viga doble T, se hace necesario rigidizarla, intercalando montantes de madera aserrada a ambos costados del alma de la viga. Cuando el material usado no cubre el largo total de la viga, estos montantes ayudan, además, a fijar el alma de ésta. Las uniones deben coincidir con un montante. También, deben colocarse montantes en los puntos de apoyo, por ser zonas que reciben los máximos esfuerzos de corte a nivel del eje neutral.

Si los cordones tienen uniones dentadas, éstas no deben coincidir con los montantes. Cuando las vigas son de una altura igual o superior a 1,20 metros, debe intercalarse un listón horizontal, para evitar el pandeo del alma. En algunos casos, cuando se absorben grandes cargas, se arma una verdadera cercha de alma llena intercalando diagonales entre los montantes.

Para aumentar la resistencia de las vigas doble T, se pueden duplicar o triplicar las placas o el entablado que constituye el alma. En el caso de los entablados, es recomendable que estos se claven entre sí o que se use adhesivo para construir una placa solidaria. En el caso de placas (contrachapado, placas de fibras o partículas), estas deberán colocarse separadamente entre sí y con montantes intercalados. Para que los entablados cumplan su función rigidizante, se colocan en sentido diagonal y con una diferencia de Angulo de entre 5° y 10° entre una y otra capa. Todas las vigas doble T y de cajón que soportan cargas uniformes, mantienen una relación entre el alto de la viga y el alto de los cordones superiores e inferiores, siendo el alma como promedio, 2,5 veces mas alta que la suma de la altura de los dos cordones.

También el ancho del alma esta en relación con la altura de la viga.

En general se puede observar que las vigas doble T, en comparación con una viga de sección llena, tienen un tercio de material por sección y su módulo resistente duplica al de una viga de sección llena.

Existen algunos diseños especiales de vigas doble T, generalmente patentados, como por ejemplo aquel de alma ondulada, entre los cordones paralelos de la viga, que se dispone de una o más placas de madera contrachapada de recorrido ondulado a fin de lograr una mayor resistencia al pandeo lateral. El contrachapado queda inmovilizado al encontrarse en ranuras hechas previamente en cada cordón. El alma que está constituida por placas, se fija a los cordones mediante adhesivos. Estas vigas tienen la ventaja de ser muy livianas, pero su proceso de fabricación requiere tecnología y obra de mano especializada.

CAPITULO III – Esquema de diseño de viga de alma llena e inercia variable

El diseño de la viga de alma llena e inercia variable, responde en primera medida, al concepto de mejoramiento y aplicación de mayores luces habitables en estructuras variables que puedan sostener esta aplicación, en segunda medida, se considera el concepto del aprovechamiento de maderas cortas para su construcción, siendo estas usadas en algunos procesos como lo son los moldajes de sobrecimientos, pilares y/o vigas que necesitan de algún medio de contención para su llenado en el caso de estructuras de hormigón. Además de analizar las vigas como se comportan frente a uniones de tope sin traslapes de fijaciones de uniones.

Hipotéticamente hablando, se cree que la madera utilizada en moldajes de hormigón, y re utilizada para la construcción de la viga de alma llena, la madera que esta en contacto directo con la lechada del hormigón, esta adquiere una mayor propiedad resistente siempre y cuando la madera utilizada en moldajes no se encuentre seca. Este concepto podrá ser evaluado en el momento que se disponga de los análisis de resultado obtenidos por el ensayo y por medio de las comparaciones pertinentes, para poder comprobar si es posible lo señalado.

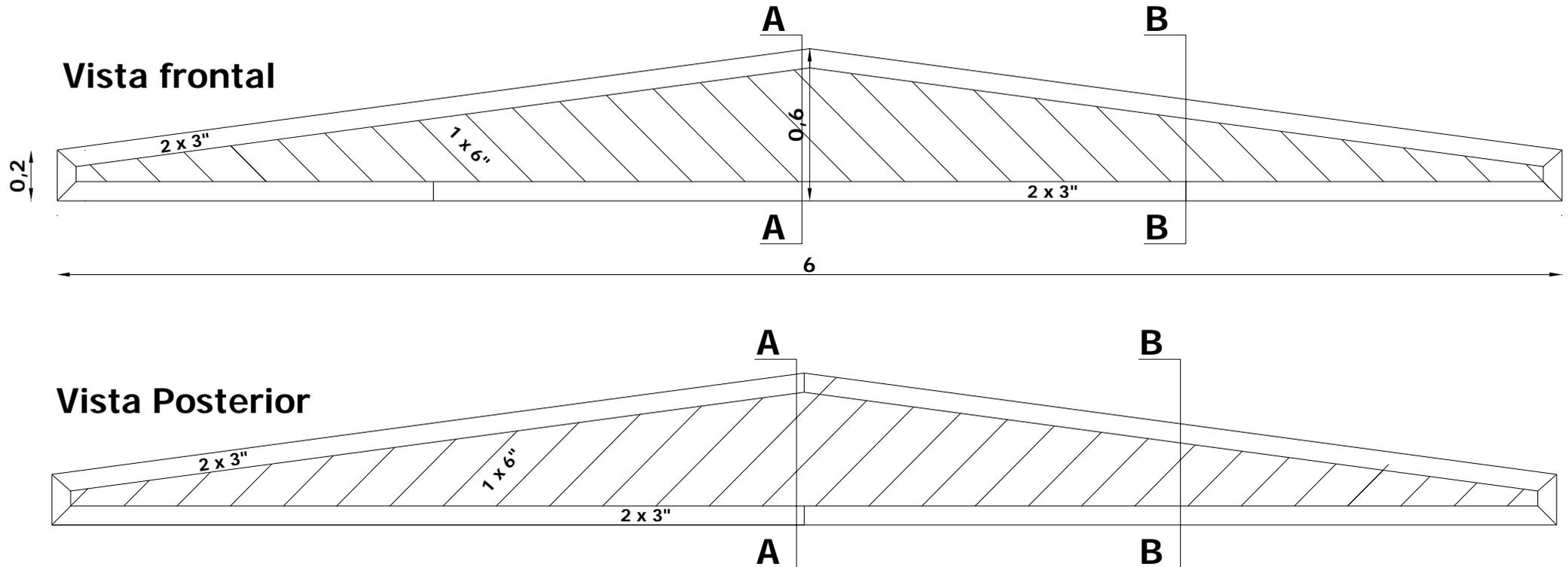
En tercera medida, el diseño responde bajo los criterios de diseño de la norma 1198 Of. 2006, la que nos señala el método de cálculo y disposición de las piezas. En este capítulo se muestra la disposición y/o esquema de la construcción de la viga, con sus antecedentes básicos; esta viga será ensaya en el LEMCO al ensayo de flexión, y en el capítulo de **análisis y resultados** se entregaran los valores específicos de calculo de esta viga.

Viga 1: Maderas sin uso previo, sin uniones en el alma.

Viga 2: Madera usada como moldaje, sin uniones en el alma.

Viga 3: Madera sin uso previo, con uniones en el alma.

| | | | | |
|--------------------------|---------------|--|---------------|-----------|
| Datos generales : | Luz | : 6 mt | Espesor Alma | : 2 Pulg. |
| | Alma | : Piezas 1 x 6 Pulg a 45° | Espesor Total | : 6 pulg. |
| | Alas | : Piezas 2 x 3 Pulg. | Altura Mínima | : 0,20 MT |
| | Restricciones | : Alma doble, Sin Atizadores | Altura Máxima | : 0,60 MT |
| | Uniones | : Clavadas, Almas Clavos 2 pulg, Alas Clavos de 4 pulg. Respetar Uniones de tope | | |



Observaciones de Clavado: El alma deberá ser clavada con clavos de 2 pulg entre ellas por ambos lados, dos clavos de 2 por pieza de 1 x 6 en los extremos; posteriormente el ala se clavara con clavos de 4 pulg, de ala hacia alma por ambos lados, con una unidad por cada pieza de 1 x 6 que recibe bajo el ala.

Figura 3 Vista Frontal y Posterior de Viga Diseñada

| | | | | |
|--------------------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------|
| Datos generales : | Luz | : 6 mt | Espesor Alma | : 2 Pulg. |
| | Alma | : Piezas 1 x 6 Pulg a 45° | Espesor Total | : 6 pulg. |
| | Alas | : Piezas 2 x 3 Pulg. | Altura Mínima | : 0,20 MT |
| | Restricciones | : Alma doble, Sin Atizadores | Altura Máxima | : 0,60 MT |

Vista Superior

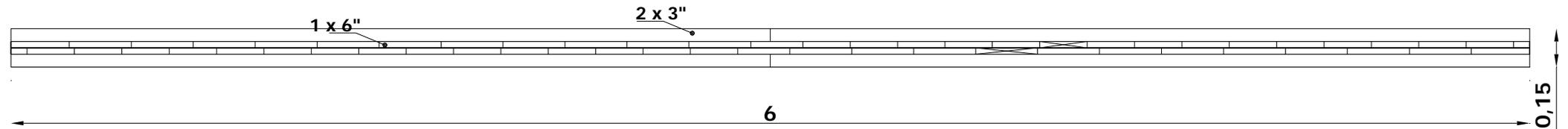


Figura 4 Vista Superior Viga Diseñada

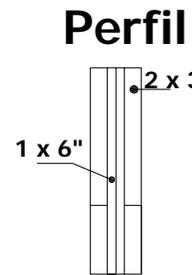


Fig. 5

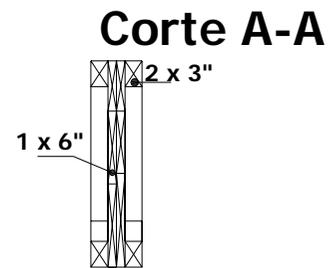


Fig. 6

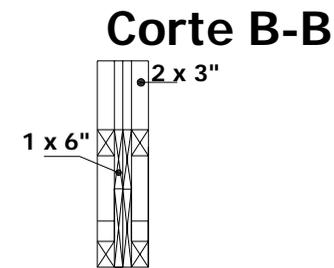


Fig. 7

Figura 5-6-7 Perfil, Corte A-A y Corte B-B de Viga Diseñada

Detalle de Clavado

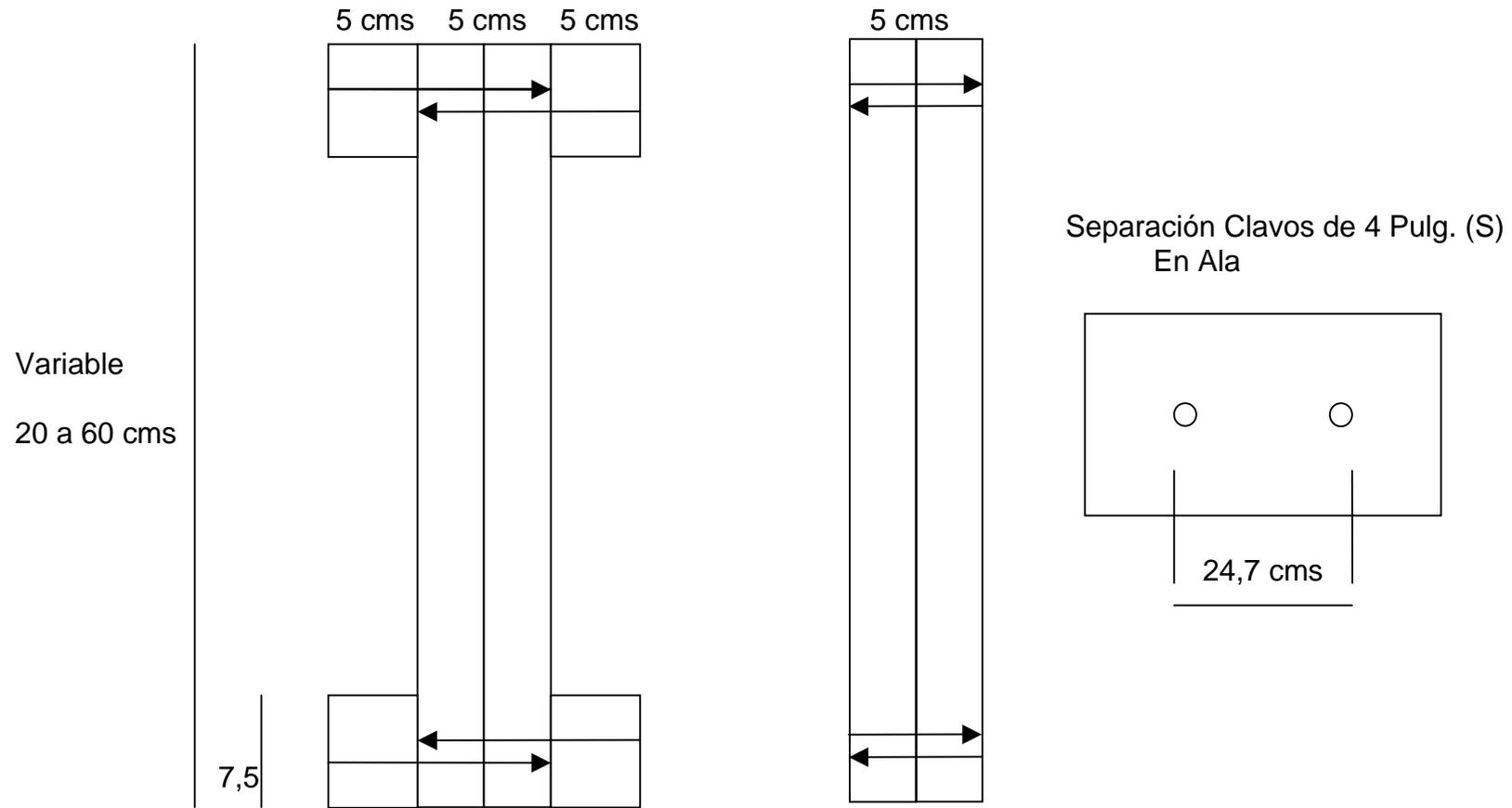


Figura 8 Detalle clavado

CAPITULO IV – Ensayo de Flexión

El presente capítulo muestra e indica ciertos criterios de referencia que deben ser considerados para la ejecución de un ensayo global y específico.

4.1 Condiciones Generales para los Ensayos

4.1.1 Acondicionamiento de las probetas

Seguir las prescripciones de la norma NCh 968. y Nch 987 Of. 86

4.1.2 Ambiente para el ensayo

Efectuar el ensayo en un ambiente de condiciones controladas de temperatura ($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$) y de humedad relativa ($65 \pm 2\%$) de modo de evitar variaciones en el contenido de humedad de las probetas, especialmente de las que se ensayan en estado seco.

4.1.3 Registro de temperatura y humedad

Anotar los valores de la temperatura y humedad relativa del ambiente en el momento de efectuar el ensayo de cada probeta.

4.1.4 Mediciones

Determinar las dimensiones de las probetas con instrumento que aseguren una precisión de 0,1 mm.

4.1.5 Masa

Determinar la masa de las probetas con instrumentos que aseguren una precisión de 0,01 g.

4.1.6 Velocidad de ensayo

La velocidad de ensayo debe ser la establecida en cada norma de ensayo en particular. Cuando se trate de una máquina de ensayo de tipo mecánico, se entenderá por velocidad de ensayo a la velocidad de movimiento del cabezal de la máquina actuando en vacío, o sea sin carga. Cuando se trate de máquinas de ensayo de tipo hidráulico, la velocidad de ensayo corresponderá a la velocidad de movimiento del cabezal actuando con carga.

4.1.7 Calibración de equipos

Efectuar los ensayos en máquinas calibradas y certificadas regularmente.

4.2 Ensayo de Flexión

En el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción (LEMCO) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral, se han realizado varios ensayos de flexión en vigas de distintos materiales como hormigón y madera. Correspondiendo todos ellos a trabajos de titulación de alumnos de las carreras de Ingeniería Civil en Obras Civiles e Ingeniería en Construcción. Además, por ser menor el número de datos existentes de madera, se realizarán ensayos de elementos de este material.

4.3 Procedimiento de Ensayo

4.3.1 Descripción del ensayo

El ensayo consistió en someter las vigas a la “flexión”, el cual se materializa con la aplicación de una carga puntual en la mitad central de la luz de ensayo de la viga, a una velocidad constante, midiendo directamente, a cada incremento de carga, la deformación vertical que se genera al centro de ellas, llevando finalmente el ensayo a la rotura.

A continuación se describe el procedimiento utilizado para llevar a cabo el ensayo a flexión.

- Se determina un punto de referencia, destinado a realizar las lecturas, el cual debió coincidir siempre con el punto medio de la luz de ensayo de todas las vigas en estudio, pudiendo de esta forma medir directamente las deformaciones que se generan al centro de ellas.

- Se coloca la viga sobre los apoyos, haciendo coincidir su eje de simetría, con los extremos de la luz de ensayo de la viga, así como también su punto medio con el punto de referencia mencionado anteriormente.
- Se verifica la horizontalidad de la viga con la ayuda de un nivel de burbuja.
- Se efectúa la primera lectura, que corresponde a la distancia vertical (altura) de la parte inferior del ala de la viga al punto de referencia, en milímetros, donde el valor obtenido se considera parámetro fijo para determinar las deformaciones posteriores, al que se le asocia un valor de carga y de descenso igual a cero.
- Se enciende el medidor de carga electrónico, utilizando como unidad de medida el kilogramo (Kg).
- Se determinó el incremento de carga a utilizar, el cual se mantuvo constante durante el ensayo. Este incremento de carga puede corresponder a un valor de 100 Kg. y debe ser tal que permitiera obtener las lecturas necesarias para efectuar, el gráfico carga v/s deformación.
- Se acciona la palanca de compresión, para comenzar a cargar la viga, realizando las mediciones de la deformación, a cada incremento de carga previamente definido.
- El ensayo finalizó con la última lectura de carga, "Pult.", cuyo valor de deformación corresponde al experimentado por la viga, cuando ésta falla.

4.3.2 Aparatos y equipos de laboratorio

A continuación se dan a conocer todos los materiales y equipos utilizados en los ensayos, acompañados con una breve descripción de cada uno de ellos.

- **Pistón hidráulico de carga**



Figura 9
Pistón Hidráulico

Especificaciones de registro desconocidas
Serie gravada 514588
Capacidad de Carga 30 Toneladas

Elemento utilizado para cargar la viga, este pistón es colocado en las vigas metálicas que lo sostienen. El pistón tiene un recorrido hidráulico máximo de 160 mm.

- **Visor de carga**



Figura 10
Visor de Carga

Digital Strain Meter TC – 31K
Made Tokio Sokki Kenkyujo Co. Ltd
Serial N° 0341742

Funciona a través de un sensor de carga conectado al pistón. Sus lecturas son efectuadas en kilogramos fuerza.

- **Compresor**



Figura 11
Compresor

| | | |
|----------------|-------|-------------------------------|
| Marca Laferet | N° | 61421 |
| Type LMT 80 L4 | Cos& | 0,91 / 1435 min ⁻¹ |
| KW 0,75 | A | 5,4 |
| V 230 | Hz | 50 |
| Uf 25 | I.Cl. | H |
| IP 54 | S | 1 |

Compresor Universidad Austral de Chile

Elemento Mecánico que acciona el liquido hidráulico de las mangueras y permite que el pistón trabaje.

- **Celda de Carga**



Figura 12
Celda de Carga

Tokio Sokki Kenkyujo Co. Ltd.
Type CLC – 50A
Capacidad 50 Tf (Toneladas Fuerza)
Sens: 1,5 mV/V
Ser. N° LH8301

Mide la carga que aplica el pistón hidráulico, este sensor transmite la carga que se aplica y se ve en el visor de carga

- **Mangueras Hidráulicas**



Figura 13
Mangueras Hidráulicas

Marca Parker
No-Skive 381-6
W.P. 34,5 MPA (5000 Psi)

Permiten el desplazamiento del líquido hidráulico

- **Tecle**



Figura 14
Tecle

HS Type Chain Block
½ Ton
Made in China

Elemento que permite la sujeción de placa metálica de soporte de pistón, por encontrarse en mal estado. Solución alternativa.

- **Estructura Soporte de Pistón**



Figura 15
Estructura Soporte Pistón

Compuesto por vigas afianzadas en pilares metálicas.

- **Plataforma de Ensayo**



Figura 16
Plataforma de Ensayo

Luz 6 mts

- **Apoyos para vigas**



Figura 17
Apoyos para Vigas

Compuesto por testigos de Hormigón y carril de madera,
con pilar de madera que impide desplazamiento horizontal.

- **Huincha metálica**



Figura 18
Huincha Metálica

Marca Stanley
Largo Max 3 Mt.

Medición de deformaciones en luz central

- **Cuaderno de Anotaciones**



Figura 19
Cuaderno de Anotaciones

Cuaderno donde se toma nota de las lecturas y deformaciones, además de alturas en apoyos entre otros. Todo dato referente al ensayo.

CAPITULO V – Resultados y análisis de resultados

5.1 Generalidades

Los análisis de resultados son derivados del ensayo de flexión y del calculo referente a la norma nch 1198 Of. 2006.

5.2 Calculo Viga de Alma Llena e Inercia variable Entablada

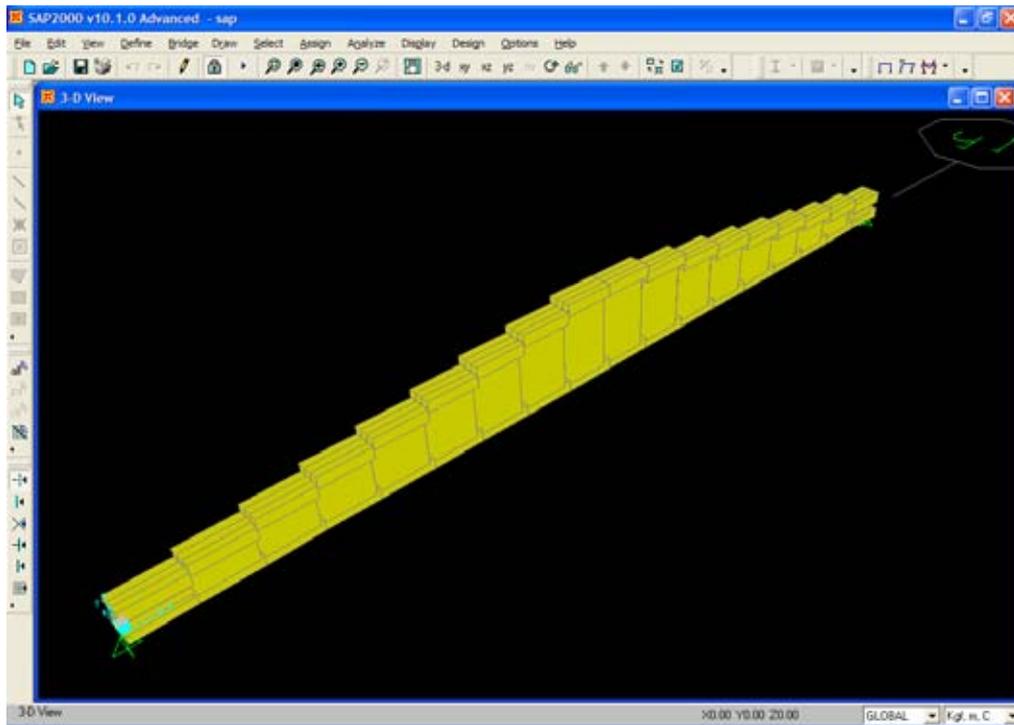
5.2.1 Antecedentes generales

La viga construida, parte del principio de obtener una predicción de carga según norma, esta es de la orden de los 700 kg x m, puesto que la aplicación de la norma es conservadora, y frente a esta predicción, se deberá obtener una mayor carga aplica por el ensayo de flexión. Los cálculos fueron realizados por medio del programa computacional Sap 2000, además de un programa de libre uso para estudiantes de la universidad austral de chile, que nos ayuda a encontrar los valores esperados.

Se parte de la hipótesis, como lo señala la norma, que para el calculo de la inercia eficaz para el sistema de análisis, no se debe considerar el alma, además de la verificación correspondiente o rectificación en donde se presenta la mayor tensión de trabajo.

Así, con la ayuda de programas computacionales es posible obtener en forma rápida y segura predicciones estimadas, en base a cálculos conservadores.

5.2.2 Imagen de de viga modelada por Sap 2000.



En el programa Sap, se realiza la modelación, la que nos entrega valores previos del comportamiento de la viga frente a un supuesto de carga.

Así, debemos evaluar tramos de $x=0$ a $x=300$ para poder obtener tensiones de trabajo en el centro de cada punto analizado, para verificar, si en $L/2$ tenemos la mayor tensión, evaluando desde el centro (tramo 9) a los apoyos (tramo 1).

Tramo 9

$h := 60\text{cm}$ Altura en cm!!!!

$M := 91358\text{kgf}\cdot\text{cm}$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5\text{cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5\text{cm} \cdot (7.5\text{cm})^3}{12} + 5\text{cm} \cdot 7.5\text{cm} \cdot \frac{(h - 7.5\text{cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.001941 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 14.123 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 8

$h := 55.5\text{cm}$ Altura en cm!!!!

$M := 80469\text{kgf}\cdot\text{cm}$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5\text{cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5\text{cm} \cdot (7.5\text{cm})^3}{12} + 5\text{cm} \cdot 7.5\text{cm} \cdot \frac{(h - 7.5\text{cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.001583 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 14.103 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 7

$h := 51.11\text{cm}$ Altura en cm!!!!

$M := 68776\text{kgf}\cdot\text{cm}$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5\text{cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5\text{cm} \cdot (7.5\text{cm})^3}{12} + 5\text{cm} \cdot 7.5\text{cm} \cdot \frac{(h - 7.5\text{cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.001277 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 13.769 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 6

$$h := 46.66 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 57323 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.001005 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 13.302 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 5

$$h := 42.21 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 45616 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.000772 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 12.468 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 4

$$h := 37.77 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 33133 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.000575 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 10.879 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 3

$$h := 33.33 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 20962 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.000412 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 8.489 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 2

$$h := 28.88 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 8587 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.000279 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 4.447 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$

Tramo 1

$$h := 24.44 \text{ cm} \quad \text{Altura en cm!!!!}$$

$$M := 2000 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$I := \frac{1}{12} \cdot 5 \text{ cm} \cdot h^3 + 4 \cdot \left[\frac{5 \text{ cm} \cdot (7.5 \text{ cm})^3}{12} + 5 \text{ cm} \cdot 7.5 \text{ cm} \cdot \frac{(h - 7.5 \text{ cm})^2}{4} \right]$$

$$I = 0.000175 \text{ m}^4 \quad \text{cm}^4$$

$$W := I \cdot \frac{2}{h}$$

$$\sigma_t := \frac{M}{W}$$

$$\sigma_t = 1.393 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensión de trabajo en el centro}$$



DISEÑO EN FLEXIÓN SECCIÓN COMPUESTA TIPO 3



Proyctista:

Descripción:

Indique Tipo de Clavo (mm)

N° de Clavos solo Parte superior (unid)

| n | yn |
|---|-----|
| 1 | 3.6 |
| 2 | 3.8 |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |

Seleccione La Especie

Seleccione el G. Estructural

Activa Selección por Lugar de Construcción

Zona de Const. que Deter. H.E.

Ingreso Manual H.E. válida si no está activado Selec. por Lugar de Construc..

Ingrese Contenido de Humedad (%)

Indique tipo de Cizalle

$S' =$ Espaciamento de los Clavos

Ingrese Largo

Viga Continua

Viga en Voladizo

Ingrese valor Momento Máximo

Ingrese valor Corte Máximo

Deformación Admisibile Ingreso Manual Def. Adm

Indique deformación elástica máx. de acuerdo a tipo de carga y apoyo

Activar Fact. Mod. Kd (Duración Carga)

Indique Duracion de la carga

Activar Fact. Mod. Kc (Trabajo Conjunto)

Activar Fact. Mod. Kt (Temperatura)

Indique Temperatura en Grados Celcius

Activar Fact. Mod. Kq (Tratamiento Químico)

Tratada con Ignifugos

A) Tensiones Admisibles, de Trabajo , Factores de Modificación y Módulo Elasticidad en Flexión

$$R_F = \begin{pmatrix} \text{"SOLICITACIONES"} & \text{"Flexión"} & \text{"Trac. Paralela"} & \text{"Comp. Paralela"} & \text{"Cizalle"} & \text{"Mod. Elas. Flexión"} \\ \text{"T. ADMISIBLES"} & 95.601 & 57.361 & 60.484 & 9.754 & 94252.720 \\ \text{"Kh"} & 0.877 & 0.877 & 0.877 & 0.904 & 0.911 \\ \text{"Kd"} & 1.593 & 1.593 & 1.593 & 1.593 & 1.000 \\ \text{"T. Diseño Final"} & 133.589 & 80.153 & 84.517 & 14.049 & 85883.078 \end{pmatrix} \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$
B) Clase, Grupo, H. equilibrio y Propiedades Geométricas Sección Madera**B.1)** Humedad_Equilibrio = 18 %**B.2)** Grupo = ("GS")**B.3)** Clase = ("GS")**B.4)** I_{ef} = 18033.83 cm⁴**Verificación Tensión en Flexión, Fibra extrema del ALA**

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Tensión Trabajo)} \quad Ff_1 = 22.21 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{(Tensión Diseño)} \quad Ff1d = 133.59 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \end{array} \right\} \text{Est}_a = \text{"OK"}$$

Verificación Tensión en Flexión, Fibra extrema del ALMA

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Tensión Trabajo)} \quad Ff_2 = 116.14 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{(Tensión Diseño)} \quad Ff2d = 133.59 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \end{array} \right\} \text{Est}_b = \text{"OK"}$$

Verificación Tensión en Tracción, Centride del ALA

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Tensión Trabajo)} \quad Fg_3 = 7.69 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{(Tensión Diseño)} \quad Fg3d = 80.15 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \end{array} \right\} \text{Est}_c = \text{"OK"}$$

Verificación Tensión de Cizalle

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Tensión Trabajo)} \quad Fcz_t = 21.28 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{(Tensión Diseño)} \quad Fcz_d = 14.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \end{array} \right\} \text{Est}_d = \text{"Error, :(} "$$

Indicación, que Garantiza ESTABILIDAD LATERAL

Est_L = "Seguir indicaciones Inciso 6 Tabla 42 Nch 1198"

Verificación Deformación

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Def. Elástica)} \quad \delta e = 0.538 \text{ cm} \\ \text{(Def. Corte)} \quad \delta c = 0.422 \text{ cm} \end{array} \right\} \delta t = 0.96 \text{ cm} \\ \delta adm = 2.00 \text{ cm} \quad \left. \right\} \delta est = \text{"OK"}$$

C) Verificación Uniones

$$\left. \begin{array}{l} \text{(Esp Trabajo)} \quad Esp = 24.00 \text{ cm} \\ \text{(Esp Diseño)} \quad S_{req} = 27.66 \text{ cm} \end{array} \right\} \text{Est}_e = \text{"ok"}$$

| Rv = | "i" | "Ai (cm2)" | "Aid (cm2)" | "Ii (cm4)" | "Iid (cm4)" | "ai (cm)" | "ki" | "Yi" |
|------|-------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|--------|-------|
| | 1.000 | 75.000 | 66.400 | 351.562 | 351.322 | 26.250 | 11.407 | 0.081 |
| | 2.000 | 30.000 | 29.140 | 9000.000 | 8405.125 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| | 3.000 | 75.000 | 74.570 | 351.562 | 351.322 | 26.250 | 11.407 | 0.081 |

De esta forma, obtenemos una predicción, ahora en la observaciones del calculo, tanto la tensión de trabajo en el alma y las alas son inferiores a las tensiones de diseño, lo que nos muestra que la norma es conservadora frente a una estimación de carga, el comportamiento de la viga nos dice que fallaría a cizalle, pero es atribuido única y exclusivamente por que en el calculo de inercias, no se considera el alma, se toma un alma chica para el caso, así de esta forma es obvio que tendría fallar, esta diferencia se desprecia por la explicación anterior.

La deformación será un valor a analizar con el ensayo efectuado.

5.3 Hipótesis primarias

- Aprovechamiento de maderas cortas en la ejecución de una viga de alma llena e inercia variable entablada.
- Aprovechamiento de maderas usadas en moldajes para la confección de vigas de alma llena
- Menor capacidad de carga de vigas con alma entablada de tope.
- Costo económico de confección y evaluación frente a otro sistema

5.4 Especificaciones Técnicas Viga de Alma Llena e Inercia Variable Entablada y ensayos.

De su clasificación:

- Es una viga compuesta de sección de alma llena y de perfil variable. Con madera de clasificación GS.

De la Simetría:

- Simétrica respecto a su eje neutro en ambas direcciones en el punto L/2.

Materiales:

- Madera de pino radiata con un índice de humedad de un 18%, que es la humedad de equilibrio de la zona.

Distribución de Piezas:

- En el Alma, compuesta de piezas de 1 x 6 (Pulg.) a 45° de tope. Con doble alma.
- En las alas, piezas de 2 x 3 (pulg.) que conforman el diseño y estabilidad.

De las uniones y fijaciones:

- En el Alma, se utilizan clavos de 2 Pulg. con 2 unidades por pieza de 1 x 6 en la parte superior, y 2 unidades en la parte inferior, su separación es de los bordes de cada pieza contemplando el espesor de la pieza como referencia. El alma es clavada por ambos lados con clavos de 2 Pulg.
- Las Alas, serán fijadas con clavos de 4 Pulg. en la parte central de recepción de la pieza, y con una unidad por cada pieza de recepción de 1 x 6. La distancia entre estas fijaciones es de aproximadamente 24,7 cms. Que corresponde a la distancia central entre una pieza de 1 x 6 y otra. Como estas piezas van a 45° la distancia entregada es su distancia entre fijaciones. Las uniones serán de tope.

5.4.1 Imágenes elaboración Viga de Alma Llena e Inercia Variable Entablada



Figura 20
Imagen maderas a utilizar para vigas



Figura 21
Imagen detalle de piezas de maderas a utilizar



Figura 22
Imagen Armado plantilla y trazado



Figura 23
Imagen plantilla de alma



Figura 24
Imagen viga 3 por un lado con alas.



Figura 25
Imagen trazado plantilla viga 1



Figura 26
Imagen trazado en apoyos de viga



Figura 27
Imagen trazado plantilla vértice L/2 viga



Figura 28
Imagen clavado de alas



Figura 29
Imagen de unión en vértice L/2 de viga



Figura 30
Imagen de unión en extremos de viga



Figura 31
Imagen de Vigas sobre plantilla de construcción



Figura 32
Imagen de Viga con su constructor

5.4.2 Ensayo de viga 1

Especificaciones Técnicas, desprendidas del capítulo III y del presente capítulo.

5.4.2.1 Antecedentes Viga 1

| | | |
|-------------------|---|------------------------|
| Luz | : | 600,4 cms |
| Alto H | : | 60,4 cms |
| Alto h | : | 20,5 cms |
| Sección en Apoyos | : | 252,5 cms ² |
| Sección central | : | 452,0 cms ² |
| Altura Apoyos | : | 33,7 cms |
| Altura central | : | 32,4 cms |

Viga compuesta por madera de grado GS con 18% de humedad libre de hongos, y armada con piezas enteras en el alma, sin uniones intermedias

5.4.2.2 Antecedentes de Cargas y Pesos Viga 1

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| Peso Viga 1 mas fijaciones | : | 116,874 Kg |
| Peso celda de carga | : | 4,791 Kg |
| Peso Cilindro metálico | : | 1,738 kg |
| Peso Placa metálica | : | 7,935 Kg |
| Peso taco de Madera | : | 0,498 kg |
| Peso Pieza distribuidor de carga | : | 1,163 Kg |
| Peso Total Antes de carga | : | 132,999 Kg |

5.4.2.3 Antecedentes de deformación inicial Viga 1

Antes de cargar la viga, con su peso propio mas las cargas extras que son piezas para llegar a altura de pistón de carga, la viga con 132, 999 Kg de peso, presento una deformación de 13 mm, provocada por el asentamiento de la estructura mas la carga extra señalada.

5.4.2.4 Antecedentes de datos de ensayo Viga 1

| | | |
|-----------------------------|---|---------------------|
| Intervalo de Carga Aplicada | : | +/- 100 Kgs. |
| Velocidad Ensayo | : | 5,9 según compresor |

5.4.2.5 Lecturas de medición Viga 1

| CARGA KG | DEFORMACION mm | OBSERVACION |
|-------------|-------------------|---|
| 0,00 | 0,0 | |
| 132,99 | 13,0 | ASENTAMIENTO ESTRUCTURA |
| 233,01 | 14,0 | PRIMERA CARGA |
| 333,03 | 18,0 | |
| 433,05 | 21,0 | |
| 533,07 | 24,0 | |
| 633,09 | 30,0 | TRABAJO COMPRESION (SONIDO ACUSTICO) |
| 733,11 | 37,0 | |
| 833,13 | 46,0 | SONIDO TRABAJO DE UNIONES |
| 933,15 | 59,0 | |
| 1.033,17 | 72,0 | COMIENZO FALLA UNIONES DE LAS ALAS |
| 1.133,19 | 93,0 | |
| 1.233,21 | 119,0 | PUNTO MAXIMO DE CARGA |
| 1.166,53 | 131,0 | |
| 1.133,19 | 145,0 | FIN ENSAYO |

Tabla 1
Lecturas y anotaciones medición ensayo viga 1

5.4.2.6 Gráfico de Datos Viga 1

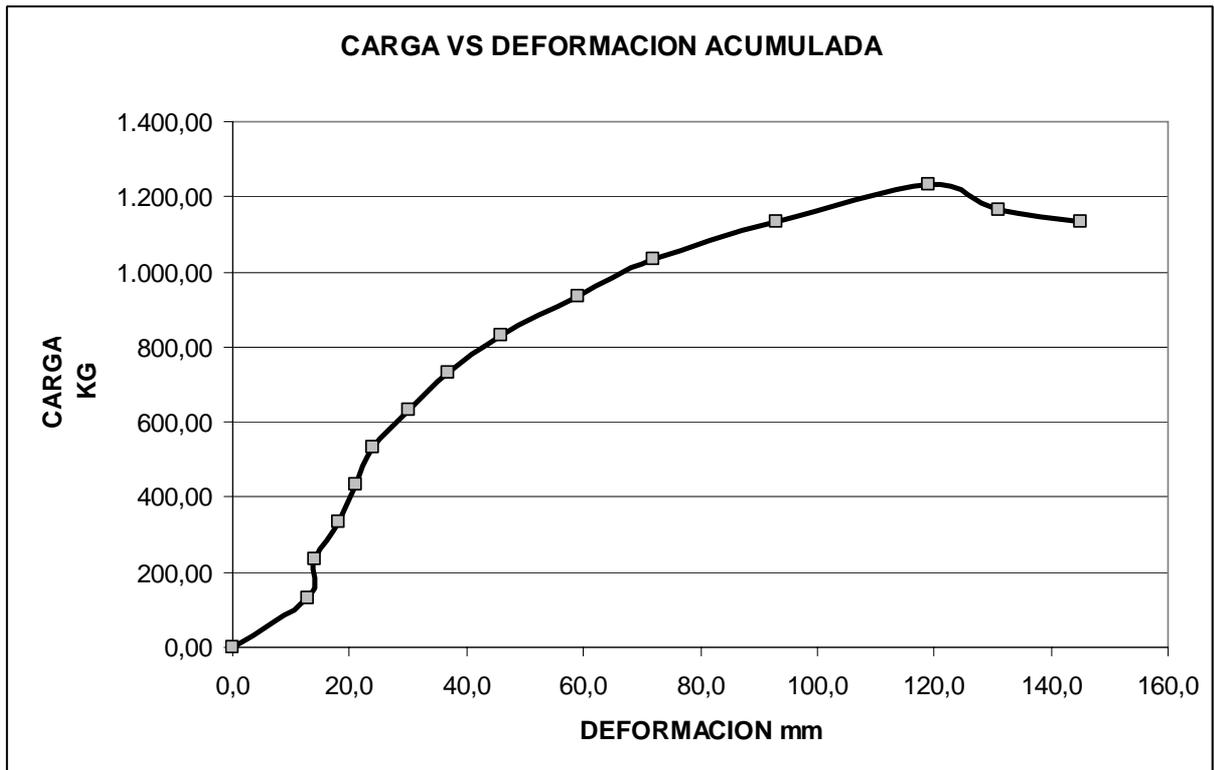


Figura 33
Gráfico Carga vs Deformación Acumulada ensayo Viga 1

5.4.2.7 Imágenes de ensayo viga 1



Peso Propio de Viga más cargas extras antes de ensayo, generan una deformación parcial, medida con huincha al milímetro

Figura 34
Imagen medición inicial deformación Viga 1



Viga cargada con pistón, cilindro metálico de recepción antes de celda de carga(no figura en la imagen), placa metálica entre celda y madera que reparte fuerza sobre toda la zona de contacto en la luz central, piezas de madera que logran la altura a la celda y además sirven para repartir la carga en la punta de la viga

Figura 35
Imagen sistema de coplas para carga de Viga 1



Anotaciones de los datos recolectados por el ensayo de la Viga 1

Figura 36
Imagen Anotaciones de lecturas



Viga Cargada con pistón Hidráulico en luz central

Figura 37
Imagen del Pistón de Carga con Viga.



En la luz central de la viga, se experimento la mayor separación de las alas, producto al estar cargadas flexo Traccionadas, produciendo desprendimiento de la unión y permitiendo el descenso de la Viga en su deformación.

Figura 38
Imagen Separación de Uniones Viga 1



La viga al estar cargada centralmente por una carga puntual, esta produce en la parte superior una flexo Compresión y en la parte inferior una flexo tracción, que se ve reflejada con la separación de las piezas del alma en su parte inferior, a su vez en los extremos de la viga el alma se comprime.

Figura 39
Imagen Separación de Uniones de alma de Viga 1

5.4.3 Ensayo de viga 2

Especificaciones Técnicas, desprendidas del capítulo III y del presente capítulo.

5.4.3.1 Antecedentes Viga 2

| | | |
|-------------------|---|------------------------|
| Luz | : | 600,0 cms |
| Alto H | : | 60,2 cms |
| Alto h | : | 20,3 cms |
| Sección en Apoyos | : | 251,5 cms ² |
| Sección central | : | 451,0 cms ² |
| Altura Apoyos | : | 33,7 cms |
| Altura central | : | 32,4 cms |

Viga compuesta por madera de grado GS con 18% de humedad libre de hongos, y armada con piezas enteras en el alma, sin uniones intermedias. Madera utilizada de moldajes de fundación de hormigón, en construcción de vivienda ubicada en fundo colegial localidad malihue, madera que estuvo en contacto con hormigón durante 3 días.

5.4.3.2 Antecedentes de Cargas y Pesos Viga 2

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| Peso Viga 1 mas fijaciones | : | 117,932 Kg |
| Peso celda de carga | : | 4,791 Kg |
| Peso Cilindro metálico | : | 1,738 kg |
| Peso Placa metálica | : | 7,935 Kg |
| Peso taco de Madera | : | 0,498 kg |
| Peso Pieza distribuidor de carga | : | 1,163 Kg |
| Peso Total Antes de carga | : | 134,057 Kg |

5.4.3.3 Antecedentes de deformación inicial Viga 2

Antes de cargar la viga, con su peso propio mas las cargas extras que son piezas para llegar a altura de pistón de carga, la viga con 134, 057 Kg de peso, presento una deformación de 13 mm, provocada por el asentamiento de la estructura mas la carga extra señalada.

5.4.3.4 Antecedentes de datos de ensayo Viga 2

Intervalo de Carga Aplicada : +/- 100 Kgs.

Velocidad Ensayo : 5,9 según compresor

5.4.3.5 Lecturas de medición Viga 2

| CARGA KG | DEFORMACION mm | OBSERVACION |
|-------------|-------------------|--|
| 0,00 | 0,0 | |
| 134,06 | 13,0 | ASENTAMIENTO ESTRUCTURA |
| 234,08 | 16,0 | PRIMERA CARGA |
| 334,10 | 20,0 | |
| 434,12 | 22,0 | |
| 534,14 | 26,0 | |
| 634,16 | 31,0 | TRABAJO COMPRESION (SONIDO ACUSTICO) |
| 734,18 | 38,0 | |
| 834,20 | 45,0 | SONIDO TRABAJO DE UNIONES |
| 934,22 | 62,0 | |

| | | |
|----------|-------|------------------------------------|
| 1.034,24 | 71,0 | COMIENZO FALLA UNIONES DE LAS ALAS |
| 1.134,26 | 91,0 | AVERTURA DE ALAS |
| 1.234,28 | 118,0 | |
| 1.334,30 | 146,0 | PUNTO MAXIMO DE CARGA |
| 1.234,27 | 158,0 | FIN ENSAYO |

Tabla 2

Lecturas y anotaciones medición ensayo viga 2

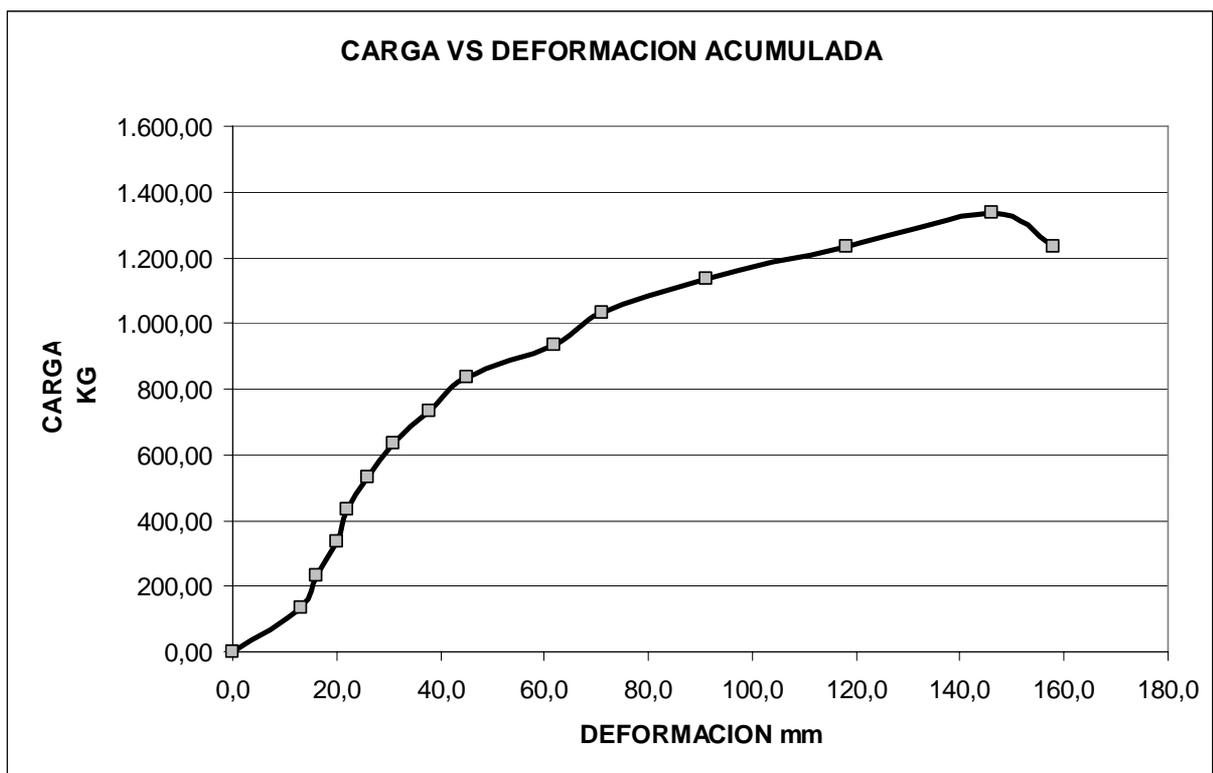
5.4.3.6 Gráficos de Datos Viga 2**Figura 40**

Gráfico Carga vs Deformación acumulada ensayo Viga 2

5.4.3.7 Imágenes de ensayo viga 2



Figura 41
Imagen medición inicial deformación Viga 2

Peso propio de viga más cargas extras antes de ensayo, generan una deformación parcial, medida con huincha al milímetro



Figura 42
Imagen de apoyos Viga 2

Apoyos conformados por testigos de hormigón que dan la altura de la viga



Figura 43
Imagen de sistema de aplicación de carga en viga 2

Aplicación de carga sobre viga y medición de lecturas de deformación



Viga flexionada en L/2 con
Variación de cargas de +/-100
Kg Aproximadamente

Figura 44

Imagen de viga flexionada en L/2 de viga 2



Viga flexionada en la plataforma de ensaye,
fotografía muestra el sistema completo

Figura 45

Imagen de flexión de viga 2



Falla de uniones de alas,
además se ve el alma
comprimida, fotografía en el
Tercio de la luz.

Figura 46

Imagen falla de uniones de alas en viga 2

5.4.4 Ensayo de viga 3

Especificaciones Técnicas, desprendidas del capítulo III y del presente capítulo.

5.4.4.1 Antecedentes Viga 3

| | | |
|-------------------|---|------------------------|
| Luz | : | 600,7 cms |
| Alto H | : | 60,1 cms |
| Alto h | : | 20,3 cms |
| Sección en Apoyos | : | 251,5 cms ² |
| Sección central | : | 450,5 cms ² |
| Altura Apoyos | : | 33,7 cms |
| Altura central | : | 32,2 cms |

Viga compuesta por madera de grado GS con 18% de humedad libre de hongos, y armada con medias piezas en el alma, es decir, con uniones de piezas intermedias en esta.

5.4.4.2 Antecedentes de Cargas y Pesos Viga 3

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| Peso Viga 1 mas fijaciones | : | 117,503 Kg |
| Peso celda de carga | : | 4,791 Kg |
| Peso Cilindro metálico | : | 1,738 kg |
| Peso Placa metálica | : | 7,935 Kg |
| Peso taco de Madera | : | 0,498 kg |
| Peso Pieza distribuidor de carga | : | 1,163 Kg |
| Peso Total Antes de carga | : | 133,628 Kg |

5.4.4.3 Antecedentes de deformación inicial Viga 3

Antes de cargar la viga, con su peso propio mas las cargas extras que son piezas para llegar a altura de pistón de carga, la viga con 133,628 Kg de peso, presento una deformación de 15 mm, provocada por el asentamiento de la estructura mas la carga extra señalada.

5.4.4.4 Antecedentes de datos de ensayo Viga 3

Intervalo de Carga Aplicada : +/- 100 Kgs.

Velocidad Ensayo : 5,9 según compresor

5.4.4.5 Lecturas de medición Viga 3

| CARGA KG | DEFORMACION mm | OBSERVACION |
|-------------|-------------------|--|
| 0,00 | 0,0 | |
| 133,63 | 15,0 | ASENTAMIENTO ESTRUCTURA |
| 233,65 | 19,0 | |
| 333,67 | 21,0 | TRABAJO COMPRESION (SONIDO ACUSTICO) |
| 433,69 | 29,0 | SONIDO TRABAJO DE UNIONES |
| 533,71 | 42,0 | COMIENZO FALLA UNIONES DE LAS ALAS |
| 633,73 | 62,0 | AVERTURA DE ALAS |
| 733,75 | 90,0 | PUNTO MAXIMO DE CARGA, RUPTURA DE ALA |
| 250,32 | 102,0 | FIN ENSAYO |

Tabla 3
Lecturas y anotaciones medición ensayo viga 3

5.4.4.6 Gráficos de Datos Viga 3

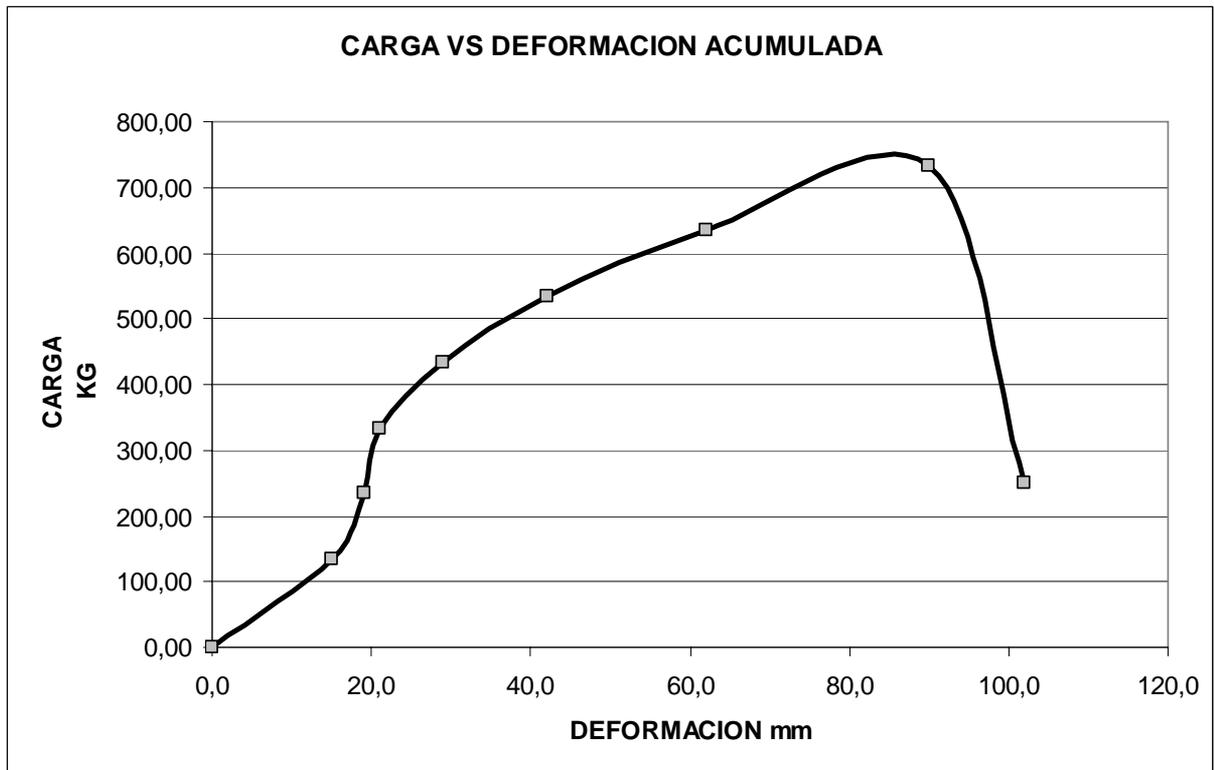


Figura 47
Gráfico Carga vs Deformación acumulada ensayo Viga 3

5.4.4.7 Imágenes de ensayo viga 3



Figura 48
Imagen carga de viga 3



Figura 49
Imagen alma viga 3



Figura 50
Imagen separación alma viga 3



Figura 51
Imagen separación unión de ala viga 3



Figura 52
Imagen separación unión de alma y ruptura de ala de viga 3



Figura 53
Imagen ruptura de ala de viga 3

5.4.5 Análisis y Base estadística de Tres ensayos de Vigas

De los resultados de cada ensayo a cada viga en particular, se desprenden observaciones previas antes de la base estadística:

Viga 1: Construida con maderas nobles, sin algún uso previo, destinada para este ensayo y elaborada por maderas completas en su alma, observamos que presenta una curva carga vs deformación muy similar a la del hormigón, esto es ya que las piezas se comportan como unidades independiente pero como un global total para su calculo; ya que se considera la viga que trabaja con micro fisuras como el hormigón, pero que particularmente tiene la capacidad de absorber cargas y distribuirlas, presenta deformaciones predecibles y constructivamente como un elemento servicial y confiable, pero no así en base al calculo efectuado, aunque la viga tenga una mayor capacidad de soporte en relación al calculo, se ve atribuido el problema de la gran deformación que experimenta, esto es única y exclusivamente porque la viga construida no presento uniones traslapadas en las alas. Lo que por diseño y confección, se aconseja hacer uso de estas uniones que rigidizan la estructura en las zonas de uniones de piezas, y por ende se comportara mucho mejor a lo visto y estipulado.

Viga 2: Construida con maderas usadas en moldajes de fundación, y re utilizada para la confección de la viga N° 2, destinada para este ensayo y elaborada por maderas completas en su alma, observamos que presenta una curva carga vs deformación muy similar a la del hormigón, esto es ya que las piezas se comportan como unidades independiente pero como un global total para su calculo; ya que se considera la viga que trabaja con micro fisuras como el hormigón, pero que particularmente tiene la capacidad de absorber cargas y distribuirlas, presentar

deformaciones predecibles y constructivamente como un elemento servicial y confiable. La madera re utilizada, a simple vista se comporto de mejor manera que la viga N°1 construida con maderas sin uso previo, lo que podría desprenderse que, se ve atribuida la diferencia de carga a que las paredes de la madera al estar en contacto con la lechada hormigón, adquieren una mayor resistencia, pero esto queda planteado como una pre hipótesis, ya que con una sola muestra no se puede predecir un resultado, por lo que queda insinuado como un futuro tema de tesis, pero no así en base al calculo efectuado, ya que se ve que, aunque la viga tenga una mayor capacidad de soporte en relación al calculo, se ve atribuido el problema de la gran deformación que experimenta, esto es única y exclusivamente porque la viga construida no presento uniones traslapadas en las alas. Lo que por diseño y confección, se aconseja hacer uso de estas uniones que rigidizan la estructura en las zonas de uniones de piezas, y por ende se comportara mucho mejor a lo visto y estipulado.

Viga 3: Construida con maderas nobles, sin algún uso previo, destinada para este ensayo y elaborada por maderas cortas con uniones en su alma, observamos que presenta una curva carga vs deformación muy similar a la del hormigón, pero en una menor escala, en relación a las vigas anteriores, puesto que alcanza un valor de resistencia muy inferior a las anteriores planteadas, esto es ya que las piezas se comportan como unidades independiente, pero al estar en presencia de uniones en el alma, la cual absorbe el esfuerzo cortante, pero no responde como las anteriores, así, además frente al calculo, esta alcanza una carga muy similar a la de la preedición, pero no así en base al calculo efectuado, aunque la viga tenga una mayor capacidad de soporte en relación al calculo, se ve atribuido el problema de la gran deformación que experimenta, esto es única y exclusivamente porque la viga

construida no presento uniones traslapadas en las alas. Lo que por diseño y confección, se aconseja hacer uso de estas uniones que rigidizan la estructura en las zonas de uniones de piezas, y por ende se comportara mucho mejor a lo visto y estipulado. Aconsejando además que en las zonas de uniones de alas, se incorporen uniones de piezas traslapadas.

Para el calculo y para la base estadística, se considerara solo a la viga N°1 y Viga N°2 para realizar comparaciones, ya que la viga 3 llega a la rotura cuando las alas de rompen, no así las vigas 1 y 2, que llegan a un estado elástico, y por falta de capacidad de desarrollo del pistón de carga, no se llevaron a la rotura..

5.4.5.1 Tablas comparativas de cargas y deformaciones

| TABLA INTERVALOS DE CARGA +/- 100 KG | | | CARGA KG PROMEDIO VIGA 1 Y VIGA 2 |
|---|----------|--------|---|
| VIGA 1 | VIGA 2 | VIGA 3 | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 132,99 | 134,06 | 133,63 | 133,52 |
| 233,01 | 234,08 | 233,65 | 233,54 |
| 333,03 | 334,10 | 333,67 | 333,56 |
| 433,05 | 434,12 | 433,69 | 433,58 |
| 533,07 | 534,14 | 533,71 | 533,60 |
| 633,09 | 634,16 | 633,73 | 633,62 |
| 733,11 | 734,18 | 733,75 | 733,64 |
| 833,13 | 834,20 | 250,32 | 833,66 |
| 933,15 | 934,22 | | 933,68 |
| 1.033,17 | 1.034,24 | | 1033,70 |
| 1.133,19 | 1.134,26 | | 1133,72 |
| 1.233,21 | 1.234,28 | | 1233,74 |
| 1.166,53 | 1.334,30 | | 1250,41 |
| 1.133,19 | 1.234,27 | | 1183,73 |

Tabla 4

Cuadro comparativo de cargas y promedio por intervalos de Viga 1 y Viga 2

| TABLA INTERVALOS DE DEFORMACIONES (mm) por cada +/- 100 kg | | | DEFORMACION mm PROMEDIO VIGA 1 Y VIGA 2 |
|--|--------|--------|---|
| VIGA 1 | VIGA 2 | VIGA 3 | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| 13,00 | 13,00 | 15,00 | 13,0 |
| 14,00 | 16,00 | 19,00 | 15,0 |
| 18,00 | 20,00 | 21,00 | 19,0 |
| 21,00 | 22,00 | 29,00 | 21,5 |
| 24,00 | 26,00 | 42,00 | 25,0 |
| 30,00 | 31,00 | 62,00 | 30,5 |
| 37,00 | 38,00 | 90,00 | 37,5 |
| 46,00 | 45,00 | 102,00 | 45,5 |
| 59,00 | 62,00 | | 60,5 |
| 72,00 | 71,00 | | 71,5 |
| 93,00 | 91,00 | | 92,0 |
| 119,00 | 118,00 | | 118,5 |
| 131,00 | 146,00 | | 138,5 |
| 145,00 | 158,00 | | 151,5 |

Tabla 5

Cuadro comparativo de deformaciones y promedio por intervalos por cada +/- 100 kg de viga 1 y viga 2

| DEFORMACION mm PROMEDIO VIGA 1 Y VIGA 2 | CARGA KG PROMEDIO VIGA 1 Y VIGA 2 |
|---|---|
| 0 | 0,00 |
| 0 | 0,00 |
| 13 | 133,52 |
| 15 | 233,54 |
| 19 | 333,56 |
| 21,5 | 433,58 |
| 25 | 533,60 |
| 30,5 | 633,62 |
| 37,5 | 733,64 |
| 45,5 | 833,66 |
| 60,5 | 933,68 |
| 71,5 | 1033,70 |
| 92 | 1133,72 |
| 118,5 | 1233,74 |
| 138,5 | 1250,41 |
| 151,5 | 1183,73 |

Tabla 6
Cuadro promedio de viga 1 con viga 2

| TABLA DE CARGAS MAXIMAS (KG) | | | PROMEDIO DE CARGA MAXIMA VIGA 1 Y VIGA 2 |
|------------------------------|----------|--------|--|
| VIGA 1 | VIGA 2 | VIGA 3 | |
| 1.233,21 | 1.334,30 | 733,75 | 1283,75 |

Tabla 7
Cuadro comparativo de cargas máximas con promedio Viga 1 y viga 2

| TABLA DE DEFORMACIONES MAXIMAS (mm) POR MAXIMA CARGA | | | PROMEDIO DE DEFORMACION MAXIMA VIGA 1 Y VIGA 2 |
|--|--------|--------|---|
| VIGA 1 | VIGA 2 | VIGA 3 | |
| 119,00 | 146,00 | 90,00 | 132,50 |

Tabla 8
Cuadro comparativo de deformaciones máximas con promedio por máxima carga

5.4.5.2 Gráficos de base estadística

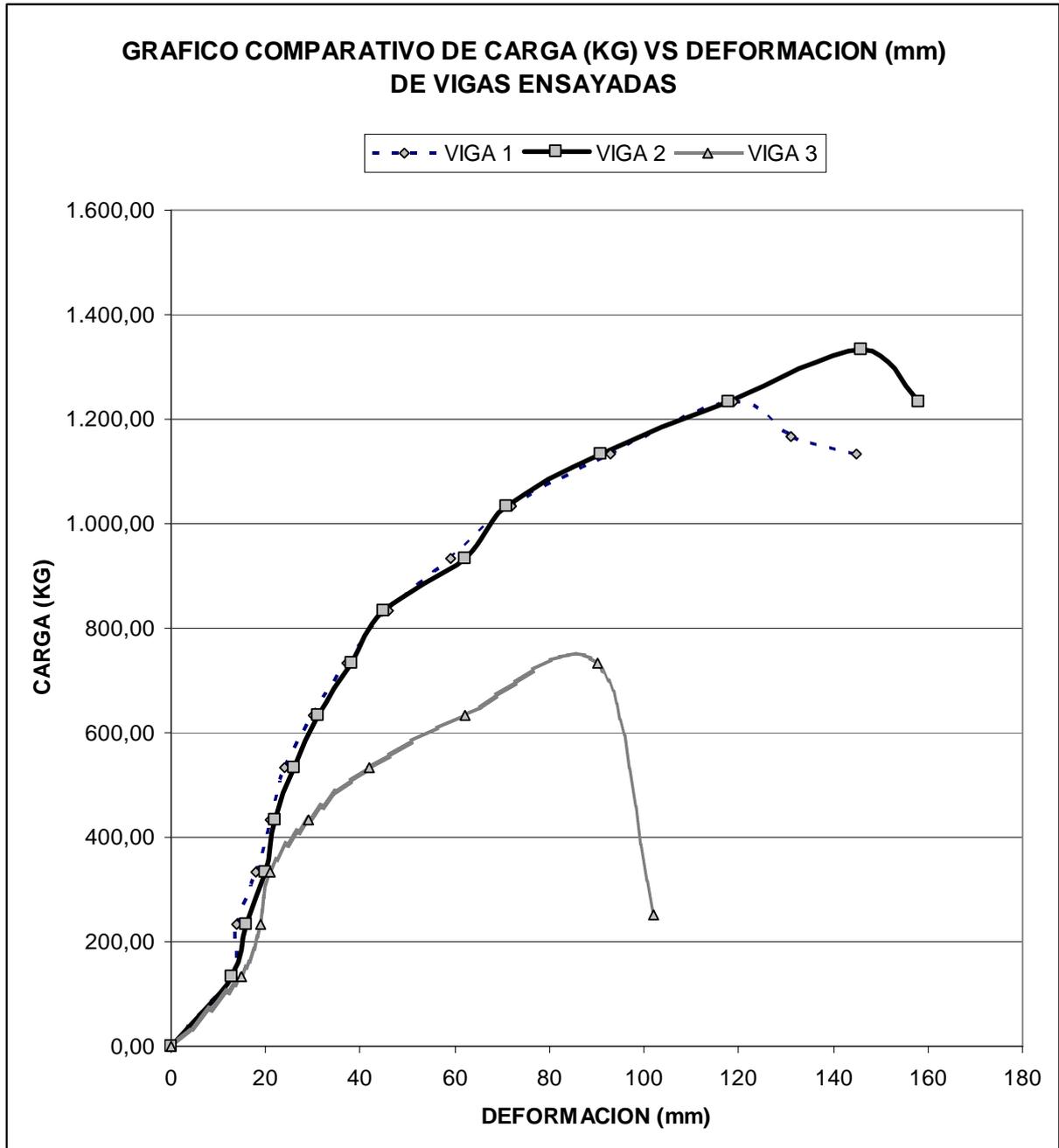


Figura 54
Gráfico comparativo de cargas vs deformaciones de vigas

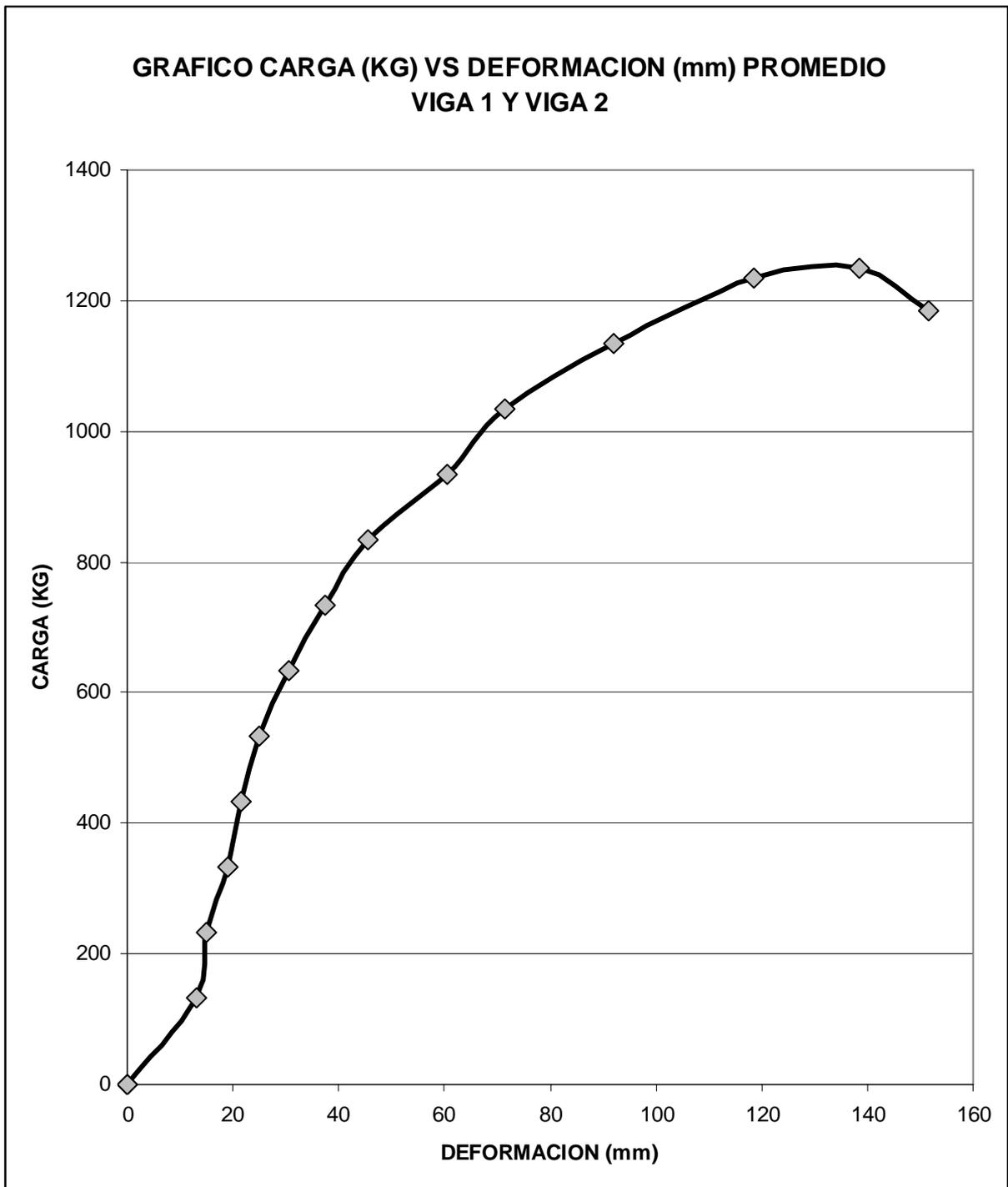


Figura 55
Grafico comparativo de promedio de viga 1 y viga 2

5.4.6 Estudio económico de Viga de Alma Llena e inercia variable entablada

Base económica de confección de una viga de alma llena, en moneda chilena sin IVA.

| COSTO UNITARIO (ESTUDIO ECONOMICO VIGA DE ALMA LLENA (Moneda Chilena sin IVA)) | | | | | | |
|---|---------------|-----------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. | SUB TOTAL | TOTAL | |
| MADERA 1 X 6 | Pulgadas | 12 | \$ 1.975 | \$ 23.700 | | |
| Perdida Madera | % | 4,00% | | \$ 948 | | |
| MADERA 2 X 3 | Pulgadas | 4,7 | \$ 1.975 | \$ 9.283 | | |
| Perdida Madera | % | 4,00% | | \$ 371 | | |
| Clavos 4 pulgadas | Kg | 1,68 | \$ 1.100 | \$ 1.848 | | |
| Perdida de clavos | % | 4,00% | | \$ 73,92 | | |
| Clavos 2 pulgadas | Kg | 0,72 | \$ 762 | \$ 549 | | |
| Perdida de clavos | % | 4,00% | | \$ 21,95 | | |
| SUB TOTAL MATERIALES | | | | | | \$ 36.794 |
| Maestro de Primera | día | 0,33 | \$ 16.000 | \$ 5.280 | | |
| Ayudante | día | 0,33 | \$ 9.000 | \$ 2.970 | | |
| Leyes sociales | % | 22,00% | | \$ 1.815 | | |
| SUB TOTAL MANO DE OBRA | | | | | | \$ 10.065 |
| TOTAL CONFECCION PARA 1 VIGA DE ALMA LLENA | | | | | | \$ 46.859 |

Tabla 9
Costo unitario viga sin IVA

| ESTUDIO ECONOMICO VIGA DE ALMA LLENA (Moneda Chilena con IVA) | | | | |
|--|------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Materiales | \$ 36.794 | IVA 19 % | \$ 6.991 | \$ 43.785 |
| Mano de Obra | \$ 10.065 | | | \$ 10.065 |
| TOTAL CONFECCION PARA 1 VIGA DE ALMA LLENA | | | | \$ 53.850 |

Tabla 10
Costo unitario viga con IVA

La confección de una viga de alma llena podrá economizarse seleccionando mano de obra menos especializada, esto dependerá de las especificaciones del diseño o de otro que pudiese darle para algún efecto en particular.

CAPITULO VI – Conclusiones

Del estudio efectuado de **“ENSAYO DE TRES VIGAS DE INERCIA VARIABLE DE ALMA LLENA ENTABLADA”**, podemos concluir que:

En relación a la elaboración de las vigas, estas son trabajables hasta el momento en que se desean movilizar, puesto que el peso de estas no es despreciable para dos personas en su ejecución. El manejo de los elementos individuales frente a una plantilla realizada es la mejor opción de construcción.

El aprovechamiento de madera en la construcción de las vigas es notorio, en relación a las pérdidas que existen en otros procesos de construcción de estructuras soportantes, pero no deja de existir un porcentaje de pérdida por los despuntes que hay que realizar para definir la forma de la viga.

Las vigas son serviciales a la hora de realizar un ensayo específico, estas se comportan de buena manera sin generar variaciones muy grandes de deformación frente a cargas puntuales, si en realidad se hubiera efectuado traslapes en zonas de uniones, en la realidad estas vigas son aplicadas con cargas distribuidas, lo que aumenta su resistencia y hace que la viga trabaje de mejor manera. La carga de 1283,75 Kg responde a la base estadística de la media de los ensayos efectuados de la viga 1 y la viga 2, la carga máxima obtenida es representativa en un ciento por ciento, debido a que la viga 3 confeccionada por uniones de alma (no piezas completas) de tope, tuvo una capacidad de soporte de la mitad aproximadamente en relación a las otras dos, esto implica que queda demostrado que el trabajo de flexión lo realiza en gran medida el alma, teniendo esa capacidad de absorber cargas y

distribuir las en su estructura, así el ala conforma la estabilidad y ayuda de unión y comportamiento frente al pandeo, estabilidad y compresión en las alas superiores.

La deformación media de 132,50 mm es derivada del promedio de las mayores deformaciones aplicadas con sus máximas cargas antes de su término de análisis, esta deformación experimentada representa el trabajo interno de la estructura frente a cargas de uso; diferencias existen en los tres ensayos frente a la viga 3, ya que esta es la única que llegó a la ruptura, en cambio las otras vigas llegaron hasta un punto elástico entregado por la capacidad de carga del pistón.

En el capítulo de análisis y resultados se puede observar que en las deformaciones iniciales las vigas ensayadas presentan una gran deformación inicial, con un promedio de 13,66 mm, esto es atribuido al asentamiento natural que realizan las piezas al ser instalada la viga, es producto de que las vigas fueron construidas en una plantilla en el piso, de lo cual ciertas piezas pueden no quedar en correcta unión de tope, provocando el resultado obtenido; esto es atribuido a demás que las piezas utilizadas son de maderas aserradas y no elaboradas con lo cual se obtendrían perfectas uniones.

De la relación de ensayo de la viga 1 construida con maderas largas en el alma y la viga 2 con maderas usadas de la construcción en moldajes de contención de fundación, se podría efectuar una hipótesis la que quedaría insinuada, esto es; existe una diferencia de 100 Kg aproximadamente de carga aplicada entre una y otra viga, la única diferencia mayoritaria entre estas dos es la procedencia de la madera, desde un mismo proveedor, pero de usos distintos, la viga 1 con maderas nobles no usadas en otro proceso, y la viga 2 con maderas nobles pero usadas en moldajes con contacto con hormigón, ambas maderas con un mismo grado de humedad y escuadrías, en la confección existen diferencias milimétricas en formatos como alturas y luz, lo que no afecta mayoritariamente, entonces, de las relaciones no existe

otra explicación para su diferencia de carga, lo que comprueba que la madera al estar en contacto con la lechada del hormigón, tiende a incorporar a sus paredes mayor resistencia, de la forma que la madera absorbe una pequeña cantidad de lechada del hormigón.

La aplicación de estas vigas corresponde al orden de sistemas mas industriales, esto quiere decir que pueden ser utilizadas para cubrir mayores luces de cielos en zonas de mayor transito en viviendas patronales, además es posible usarlas como cerchas en galpones para acopio de maquinarias, fertilizantes como además para encofrados de estructuras resistentes de grandes dimensiones, vigas de puentes trabajándolas invertidamente para libre transito de cargas menores en uso privado para cubrir relieves topográficos, o simplemente para viviendas.

Una de las principales ventajas que esta viga posee, es la de cubrir grandes luces habitables, además que de estas vigas pueden ser construidas con cualquier tipo de madera, ya sea con distintos grados estructurales, lo que dependerá de la carga de uso que tenga la viga y del calculo; como se señalo anteriormente, es posible utilizar maderas que fueron aplicadas a algún proceso, que generalmente pasan a ser maderas de desecho como lo son las maderas de moldajes.

Presentan una mejor resistencia a la flexión que un sistema de piezas individuales, esto viene de su nombre como viga compuesta.

La viga puede ser modificada en su inercia, para que pueda ser utilizada en otros procesos constructivos, esto mostraría un gran campo de aplicación. Y una ventaja principal es que esta viga puede ser construida por cualquier persona, sin necesidad de una mano de obra calificada para el proceso de construcción, esto es, ya que ocupar mano de obra especializada para el proceso, encarece la viga alrededor de un 25%, que valor trasladado por una cantidad considerable de vigas no

es despreciable, este caso se vio en el estudio económico, en el cual su construcción con mano de obra especializada puede llegar a \$ 53.850 pesos (moneda chilena) con IVA.

Las desventajas de esta viga es el peso propio que posee, y esto genera que la viga tenga un asentamiento mayor y considerable frente a ítems en que se desee trabajar con terminaciones en la viga, lo que obligaría a utilizar suples de madera para su forro en la línea horizontal. En la referencia bibliografía encontramos soluciones constructivas, se aconseja utilizar atezadores para disminuir su asentamiento, estos atezadores generarían una mayor tensión en las alas superiores, pero disminuiría la deformación o asentamiento inicial que posee la viga; esta viga no fue construida de esa forma, para poder evaluar los elementos de la viga en forma mas aislada.

Estéticamente no son vigas afines a la vista del ojo humano, ya que al verse muy macizas causan una impresión de frialdad, lo que ya pasan a ser conceptos de estética aplicada para diseñadores, no así para soluciones constructivas.

Comparar la vigas de alma llena con otro sistema como lo son las vigas de celosía genera conceptos encontrados, puesto que las vigas de celosía son mas económicas en materiales, pero mas costosas en mano de obra, ya que es necesario mano de obra especializada. Son vigas que tienen una mayor capacidad de carga como lo citan los textos, además de ser elementos que permiten pasar ductos por sus vanos formados por la triangulación de sus diagonales, no así las vigas de alma llena, que tendría que avellanarse la madera para poder pasar ductos. Estéticamente las celosías de madera son mas agradables a la vista, pero en su construcción demanda una mayor cantidad de tiempo, por la cantidad de detalles y uniones que presentan.

Las vigas de alma llena frente a un sistema de vigas de cajón difiere frente a la luz posible a alcanzar en su construcción, es mas amplia para la vigas de cajón, pero esta es mas costosa que la de alma llena, además de requerir mano calificada.

CAPITULO VII - Bibliografía

- POBLETE, HEMPEL; Cuaderno 8 Vigas. Ed. Universidad del Bio-Bio, 1992.
- SCHMITT HEINRICH; Tratado de Construcción. Ed. Gustavo Gili, 1980.
- AGATZ A.; Manual del Ingeniero Constructor. Ed. Labor, 1960.

TESIS

- DIAZ YAEGER, SYLVIA.
Ensayo no Destructivo de Vigas.
Universidad Austral de Chile.
Valdivia, 2005.
- SCHMALZ CAÑAS, GLORIA.
Ensayo a flexión de vigas mixtas de madera.
Universidad Austral de Chile.
Valdivia, 2003.
- VARGAS ARANGUA, RAUL
Diseño y Ensayo de Uniones para Cerchas de Madera.
Universidad Austral de Chile. Valdivia, 2003.

NORMAS

- NCh 173. Of. 73.
Madera. Terminología General
- NCh 174. Of. 85.
Maderas. Unidades empleadas, dimensiones nominales, tolerancias, y especificaciones
- NCh 176/1. Of. 84.
Madera – Parte 1: Determinación de Humedad
- NCh 992. EOf. 72.
Madera. Defectos a considerar en la clasificación, Terminología, y métodos de medición
- NCh 987. Of. 86.

*Madera. Determinación de las propiedades mecánicas.
Ensayo flexión estática.*

- NCh 1198. Of. 2006.
Madera. Construcciones en Madera – Calculo

ANEXO 1 – Diseño de una Viga de Alma Llena e Inercia Variable

1 Consideraciones de diseño

1.1 Generalidades

Todas las piezas estructurales, ensambles o estructuras de un edificio deben ser capaces de soportar, con adecuada estabilidad y rigidez, la totalidad de las cargas y otras solicitaciones que pueden ser razonablemente esperadas durante su montaje, construcción y uso, sin exceder las tensiones de diseño y deformaciones admisibles que se establecen en esta norma Nch 1198 Of. 2006.

El calculista responsable de la estabilidad general de la estructura debe verificar aquellos componentes prefabricados de madera (cerchas, diafragmas, etc.), aún cuando éstos hayan sido total o parcialmente diseñados estructuralmente por otro calculista.

Para asegurar un diseño resistente y estable será necesario:

- a)** considerar la geometría de la estructura;

- b)** estudiar y comprobar toda interacción y unión que se requiera entre los elementos estructurales de madera y entre tales elementos y otras partes de la estructura;

- c)** proporcionar elementos de arriostamiento o diafragmas adecuados en los planos paralelos a la dirección de las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura.

Adicionalmente, el calculista debe establecer la necesidad de precauciones especiales o de arriostramientos temporales que aseguren la estabilidad de la estructura o de sus componentes, durante la construcción.

Las propiedades resistentes de la madera y de las uniones quedan afectadas por las condiciones de carga y servicio. Las tensiones admisibles para los materiales derivados de la madera y las cargas admisibles de los elementos de unión establecidas en la norma Nch 1198 Of. 2006, son aplicables a condiciones específicas, debiendo ser multiplicadas por los factores de modificación que esta norma establece cuando las condiciones efectivas de carga y servicio resultan diferentes.

La norma Nch 1198 Of. 2006 supone que la calidad de las maderas y de los materiales complementarios de la construcción (controlada por inspección), resulta adecuada para la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la obra.

El proceso de diseño se debe considerar como un todo, por lo que requiere contemplar el diseño para la durabilidad y funcionalidad de la construcción.

NOTA - Las finalidades perseguidas por el diseño sólo pueden ser alcanzadas incorporando y haciendo cumplir normas claramente definidas para materiales, producción, calidad de ejecución y mantenimiento.

1.2 Bases de diseño

El diseño realizado de acuerdo a la norma Nch 1198 Of. 2006 considera las condiciones siguientes:

- a)** Las solicitudes están de acuerdo con la realidad (práctica) en cuanto a su magnitud, tipo y duración.

- b) La madera y los productos derivados de la madera representan las condiciones promedio de su especie, tipo y clasificación.
- c) Se da la debida importancia a las condiciones de servicio, incluyendo posibles deterioros en los elementos y corrosión en las uniones metálicas.
- d) La temperatura de la madera no excede de 50 °C, aceptándose exposiciones ocasionales no superiores a 65 °C.
- e) El diseño es competente, existe buena fabricación y montaje; la clasificación e inspección son confiables y el mantenimiento normal.
- f) Los productos de madera son usados tal como se clasificaron y fabricaron para su uso final.

1.3 Cargas y combinación de ellas

- En la determinación de las solicitaciones de pesos propios y sobrecargas se deben considerar los valores unitarios establecidos en NCh 1537.
- En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción de la nieve se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh 431.
- En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción del viento se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh 432.
- En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción sísmica se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh 433.

El diseño debe considerar las combinaciones de cargas que se estimen probables y además, la distribución o concentración más severa de estas cargas. En la selección de las combinaciones y de las magnitudes de las cargas a combinar se debe considerar la probabilidad de simultaneidad de ocurrencia de los distintos componentes de la combinación. Cuando las solicitaciones de viento y de sismo sean factibles, se considerará sólo aquella que induce las mayores tensiones, no requiriéndose el análisis de su efecto simultáneo.

Esta norma Nch 1189 Of. 2006 especifica tensiones y capacidades de carga admisibles para elementos y uniones de madera sometidos a solicitaciones con una duración efectiva, continua o acumulada de 10 años.

Dado que la resistencia de la madera y los materiales derivados de ella se ve afectada por el período de aplicación de la carga, por los tratamientos realizados y por las condiciones del medio, tales tensiones y capacidades de cargas admisibles deben ser corregidas por medio de los factores de modificación que esta norma establece.

1.4 Contenido de humedad

La madera y los productos derivados de ella deben tener, en el momento de su utilización, un contenido de humedad igual al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicio.

El contenido de humedad se controlará de acuerdo con los procedimientos establecidos en NCh 176/1, aceptándose una tolerancia de $\pm 3\%$ con respecto a los valores recomendados en esta norma.

1.5 Documentos de proyecto de Diseño

1.5.1 Memoria de cálculo

Debe ser clara y fácil de revisar, incluyendo al menos, referencias a:

- a)** normas consideradas;
- b)** materiales;
- c)** análisis y diseño;
- d)** dimensiones de elementos estructurales;
- e)** solicitaciones que actúan sobre elementos constructivos, uniones y empalmes;
- f)** deformaciones admisibles.

1.5.2 Dibujos técnicos (planos)

La memoria de cálculo de diseño debe ser complementada por planos estructurales. Estos deben ser ejecutados de acuerdo a las normas pertinentes de representación para los dibujos técnicos.

Los planos deben contener al menos las indicaciones siguientes:

- a)** disposición, dimensionamiento y designación de los elementos estructurales;
- b)** disposición de uniones, arriostramientos y medios de unión;

NOTA - En caso necesario, las uniones de los elementos estructurales se deben dibujar en diferentes vistas o vistas en corte ampliados, de modo tal que sus medios de unión pueda ser claramente indicados.

- c)** contraflechas requeridas;
- d)** toda otra información dibujada que se estime pertinente.

1.5.3 Especificaciones

Las especificaciones deben contener todas las indicaciones que son indispensables para la ejecución de la construcción y que no pueda ser deducida claramente de la memoria de cálculo o planos. Esta documentación puede incluir, entre otras especificaciones, disposiciones para el transporte y montaje.

1.5.4 Designaciones

Las abreviaturas y representación de materiales y medios de unión en los dibujos técnicos, se establecen en el anexo J.

1.6 Flexión en vigas de alma llena entabladas

Las vigas de alma llena entabladas consideradas en la norma Nch 1189 Of. 2006, tienen el alma constituida por dos entablados diagonales contrapuestos, clavados a los cordones y entre sí.

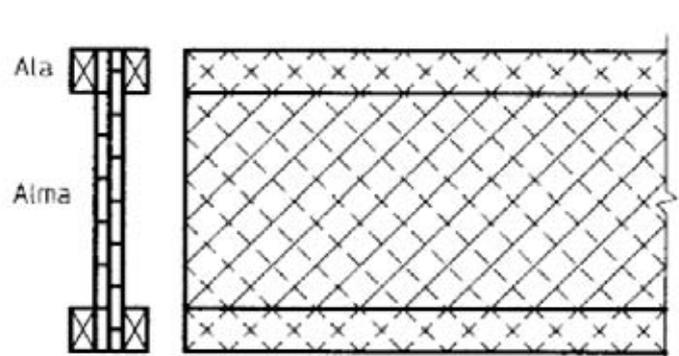


FIGURA 56
Viga de alma Llena Entablada

En vigas de alma llena entabladas se debe verificar, considerando la flexibilidad de los medios de unión de acuerdo a lo establecido por la flexión uniaxial en vigas compuestas, que:

$$\frac{f_{f,b}}{F_{fv,dis}} \leq 1 \qquad \frac{f_{cp,gl}}{F_{ca,dis}} \leq 1 \qquad \frac{f_{tp,gl}}{F_{tp,dis}} \leq 1$$

En que:

$f_{f,b}$: tensión de trabajo en flexión en el borde exterior de las alas.

$F_{fv,dis}$: tensión de diseño en flexión.

$f_{cp,gl}$: tensión de trabajo en compresión, evaluada en el centroide del ala comprimida.

$f_{tp,gl}$: tensión de trabajo en tracción evaluada en el centroide del ala traccionada.

$F_{ca,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela considerando la inestabilidad lateral.

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

NOTA – en el cálculo de $f_{f,b}$; $f_{tp,gl}$ y $f_{cp,gl}$ se puede considerar en forma aproximada :

$$I_{ef} = 2Y \cdot A_1 \cdot a_1^2$$

- En las vigas con alma llena entablada no se considera el aporte del alma en la determinación del momento de inercia eficaz, I_{ef} , (mm^4).

- Cuando se considere un escalonamiento en el espaciamiento entre los medios de unión, se puede aplicar la expresión para S'_{ef} .
- Cuando cada cordón esté constituido por dos o más piezas individuales y no se desee desarrollar una verificación exacta, se debe considerar en los cálculos las áreas de las piezas individuales ponderadas por los factores ξ . Definidos en la figura 11 A del presente capítulo.
- Desde el punto de vista de la verificación, en el cálculo no se deben considerar como efectivas más de dos piezas individuales dispuestas consecutivamente, tanto en posición vertical como horizontal.
- Las tablas del alma se deben verificar para la fuerza axial que induce sobre ellas el flujo de cizalle longitudinal. Se debe verificar, además la seguridad al pandeo de las tablas del alma solicitadas por compresión, salvo que se encuentren suficientemente conectadas en sus encuentros con las tablas traccionadas.
- Para resistir fuerzas axiales adicionales a las inducidas por flexión no se debe considerar la colaboración de los entablados del alma.
- El clavado a las alas de las tablas del alma debe ser capaz de transmitir el flujo de cizalle generado por el esfuerzo de corte, $t_{cz, ef, i}$ y de proporcionar una rigidez de ligazón entre las piezas constituyentes de las alas, compatibles con las exigencias relativas a S'_{ef} implícitas en las verificaciones tensionales de éstas.

- Si una viga de alma llena se construye separadamente en dos mitades, se debe verificar la transmisión de las fuerzas torsionales de acoplamiento que se inducen entre ambas mitades.
- La estabilidad lateral de una viga de alma llena entablada se debe determinar de acuerdo a la razón máxima de los momentos de inercia de la sección transversal. (I_y / I_x) en función de las condiciones de apoyos lateral establecidas en la tabla 11 A.

Volcamiento – razones máximas I_y / I_x de una viga compuesta

| I_y / I_x | Grado de sujeción lateral |
|-------------|---|
| 5 | 1) Sin apoyos laterales. |
| 10 | 2) Ala inferior fijada lateralmente en los apoyos. |
| 20 | 3) Apoyos fijados lateralmente a través de toda la sección transversal. |
| 30 | 4) Se fija el canto superior, además de las sujeciones señaladas en 3). |
| 40 | 5) Sujeción señalada en 4) más arriostramiento en diagonal, colocado en un plano vertical perpendicular al eje longitudinal de la viga, a una distancia no mayor que 2,4 m. |
| > 40 | 6) El movimiento lateral del canto superior de la viga impedido por un diafragma rígido ubicado a todo el largo de la viga. |

Tabla 11 – Referencia Nch 1189 Of. 2006

1.6.1 Flexión uniaxial en vigas compuestas

En la verificación tensional de piezas flexionadas de sección transversal compuestas, constituidas por elementos conectados entre sí en forma flexible (clavos, pernos, conectores, etc.) se debe considerar, cuando resulte procedente, la flexibilidad de los medios de unión.

Para piezas de sección transversal compuesta las tensiones se deben evaluar de acuerdo con lo siguiente:

$$f_{f,i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[y_i \cdot a_i \cdot \frac{A_i}{A_{in}} + \frac{h_i}{2} \cdot \frac{I_i}{I_{in}} \right] \cdot n_i \cdot 10^6$$

$$f_{g,i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot y_i \cdot a_i \cdot \frac{A_i}{A_{in}} \cdot n_i \cdot 10^6$$

(con $i = 1, 2$ y 3)

En que :

M : momento flector, considerado de signo positivo cuando induce solicitaciones de compresión en las fibras extremas del ala superior y de tracción en las fibras extremas del ala inferior, en kN m;

f_{f,i} : tensión de trabajo en flexión, en el borde de las piezas individuales (alas o alma), considerándose el signo de acuerdo con lo esquematizado en Figura 11, en MPa;

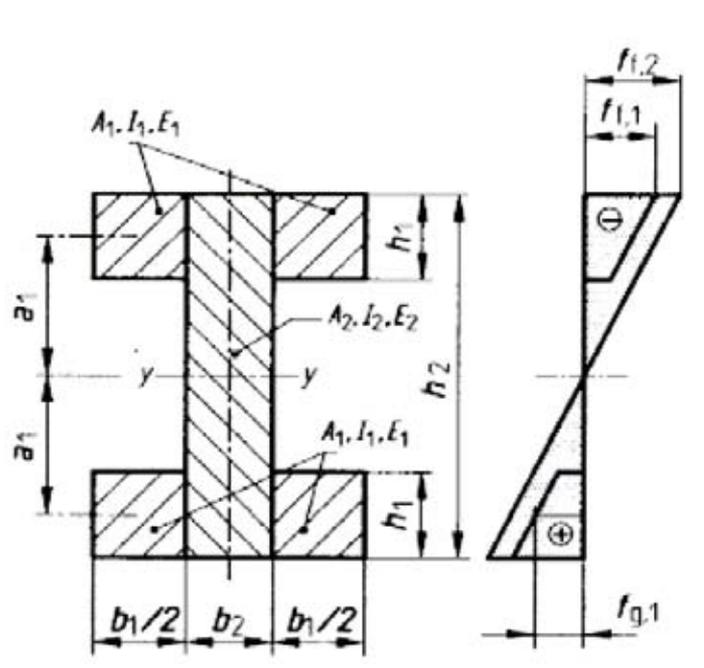
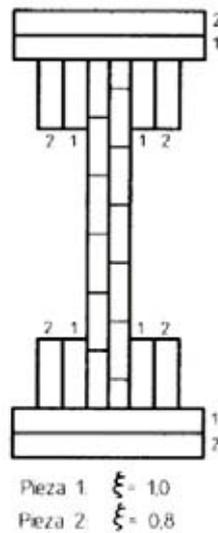


FIGURA 57
Geometría y distribución de tensiones en la viga compuesta

**FIGURA 58**

Sección transversal compuesta de una viga clavada de alma llena

$f_{g,i}$: Tensión de trabajo en el centroide de las piezas individuales (alas o alma), considerándose el signo según lo indicado en Figura 11, en MPa;

a_i : Distancia entre los ejes de gravedad principales de las secciones transversales no debilitadas y el eje neutro de flexión condicionante del diseño, Y-Y, en mm. La aplicación de las expresiones anteriores exige que:

$$0 \leq a_2 \leq 0,5 \cdot h_2;$$

h_i : Espesores o alturas de las secciones transversales individuales, en mm;

I_{ef} : Momento de inercia eficaz de la sección transversal no debilitada en mm^4 .

Y_i : Factores de reducción para el cálculo de I_{ef} .

El momento de inercia eficaz, I_{ef} , de la sección transversal bruta, se determina con la expresión:

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (n_i I_i + Y_i \cdot n_i A_i \cdot a_i^2)$$

con:

$$\text{a) } Y_i = \frac{1}{1 + k_i}; \quad k_i = \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot S'_i}{L^2 \cdot C_i}$$

Para $i = 1$ y 3

$$\text{b) } Y_i = 1$$

$$\text{c) } a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Y_1 \cdot n_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2) - Y_3 \cdot n_3 \cdot A_3 (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 Y_i \cdot n_i \cdot A_i} \quad (\text{mm})$$

en que:

L : Distancia entre apoyos (luz que condiciona el diseño), en mm;

S'_1, S'_3 : Espaciamiento promedio de los elementos de unión utilizados para conectar las alas al alma, al suponerse dispuestos unilinealmente, ver figura 12, en mm;

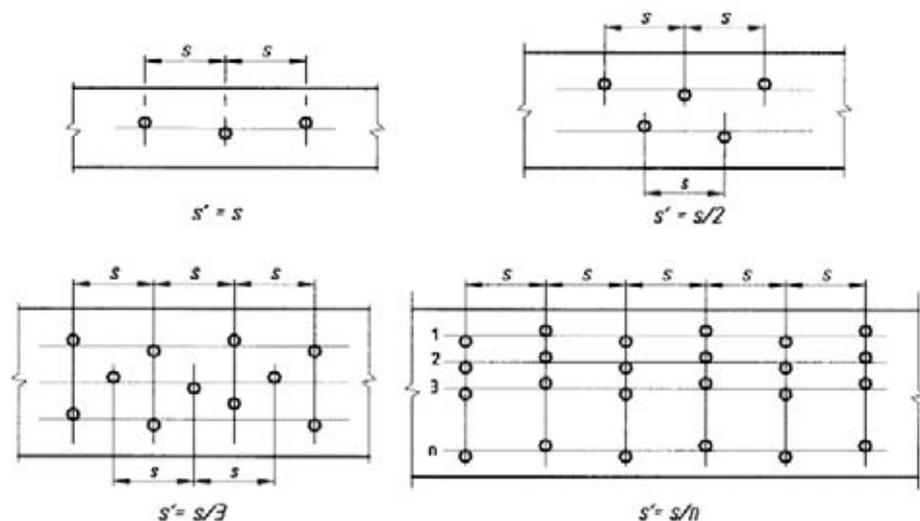


FIGURA 59
Espaciamiento condicionante S' de una disposición multilineal de medios de unión

C₁, C₃ : Módulos de corrimiento de los elementos de unión utilizados para conectar las alas al alma determinado por la tabla 12, en N/mm.

Valores de diseño para el modulo de corrimiento C, en N/mm.

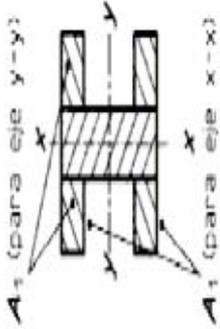
| Eje(s) regulador(es) de la flexión o el pandeo respectivamente | Elemento de fijación |  |
|--|----------------------------|---|
| Y - Y | Clavos (a cizalle simple) | 900 |
| | Clavos (a cizalle doble) | 900 por plano de cizalle |
| X - X | Clavos (a cizalle simple) | 600 |
| | Clavos (a cizalle doble) | 700 |

Tabla 12 – Elaboración propia (Referencia Nch 1189 Of. 2006)

NOTAS : en los cálculos de k_i no se deben considerar reducciones por conceptos de humedad sobre el modulo elasticidad, E_r , y el modulo de corrimiento, C.

I_i, I_{in} : Momento de inercia de la sección transversal individual no debilitada y debilitada, respectivamente ($I_i = b_i \cdot h_i^3 / 12$), en mm⁴.

A_i, A_{in} : Sección transversal no debilitada y debilitada de las piezas individuales, ($A_i = b_i \cdot h_i$), en mm².

b_i : Espesores de las secciones transversales individuales, en mm;

E_i : Módulo de elasticidad de las piezas individuales componentes de la sección transversal compuesta, en Mpa;

E_r : Módulo de elasticidad referencial, elegido arbitrariamente, en Mpa;

n_i : E_i / E_r

Si no se desea realizar un cálculo exacto, los momentos de inercia de las secciones transversales individuales debilitadas, I_{in} , se pueden referir a los ejes principales de los componentes de sección transversal no debilitadas. La sección transversal debilitada corresponde a la sección transversal neta resultante de deducir la superficie de perforaciones, rebajes y vaciados requeridos para la colocación de los medios de unión. En vigas clavadas el cociente entre las propiedades estáticas de la sección transversal bruta y de la sección transversal debilitada se puede considerar igual a la unidad, siempre que el clavado no se realice con perforación guía.

Las tensiones de trabajo en el borde, $f_{f,i}$, no deben exceder la tensión de diseño en flexión $F_{f,dis}$, calculada.

Las tensiones de trabajo centroidales, $f_{g,i}$, no deben exceder la tensión de diseño en tracción o compresión paralela según sea la naturaleza de la sollicitación a la cual está sometida la pieza i .

1.6.2 Tensión de diseño en flexión

La tensión de diseño en flexión se determina:

a) En la zona flexo-traccionada de piezas flexionadas, según la expresión:

$$F_{ft, dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_{hf} \quad (\text{MPa})$$

en que:

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

F_f : Tensión admisible en flexión.

K_H : Factor de modificación por contenido de humedad;(Ver anexo A)

K_D : Factor de modificación por duración de la carga;(Ver anexo B)

K_C : Factor de modificación por trabajo conjunto;(Ver anexo C)

K_{hf} : Factor de modificación por altura;(Ver anexo D)

b) En la zona flexo-comprimida de piezas flexionadas, según la expresión:

$$F_{fv, dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_{\lambda v} \quad (\text{MPa})$$

en que:

$F_{fv, dis}$: Tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad por volcamiento, en MPa;

F_f : Tensión admisible en flexión

K_H : Factor de modificación por contenido de humedad;

H_D : Factor de modificación por duración de la carga;

K_C : Factor de modificación por trabajo conjunto;

K_{AV} : Factor de modificación por volcamiento;

1.6.3 Tensiones Admisibles y módulos elásticos para madera aserrada

Las especies forestales utilizadas en la construcción, con la excepción del Pino radiata(madera utilizada en el ensayo), se clasifican separadamente en 14 agrupaciones designadas por E y ES correspondientes al estado verde ($H > 30\%$) y estado seco ($H = 12\%$), respectivamente. La clasificación es función de sus propiedades mecánicas medias, o eventualmente, de su densidad normal media, de acuerdo a lo establecido en NCh 1989.

Para el Pino radiata se consideran los tres grados visuales establecidos en NCh1207 y los grados mecánicos C16 y C24, que resultan de una clasificación mecánica de las piezas aserradas en equipos certificados de acuerdo con las exigencias implícitas en la aplicación de EN 338.

Las tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y el módulo de elasticidad en flexión, se agrupan en tres grados estructurales visuales y dos grados estructurales mecánicos que se indican en Tabla 13.

**Tensiones admisibles y modulo de elasticidad en flexión
para madera aserrada (Pino Radiata: H = 12%)**

| Grado estructural | Tensiones admisibles de | | | | | modulo de elasticidad en flexión E_f | Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn, h}$ (Mpa/mm) |
|---------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|--|---|
| | Flexión F_f | Compresión paralela F_{cp} | Tracción paralela F_{tp} | Compresión normal F_{cn} | Cizalle F_{cz} | | |
| a) Visuales | | | | | | | |
| GS | 11.0 | 8.5 | 6.0 | 2.5 | 1.1 | 10500 | 5.65 |
| G1 | 7.5 | 7.5 | 5.0 | 2.5 | 1.1 | 10000 | |
| G1 y mejor | 9.5 | 7.8 | 5.5 | 2.5 | 1.1 | 10100 | |
| G2 | 5.4 | 6.5 | 4.0 | 2.5 | 1.1 | 8900 | |
| B) mecánicos | | | | | | | |
| C24 | 9.3 | 8.0 | 4.7 | 2.5 | 1.1 | 10200 | 5.65 |
| C16 | 5.2 | 7.5 | 3.5 | 2.5 | 1.1 | 7900 | |

Tabla 13 – Elaboración propia (Referencia Nch 1189 Of. 2006)

La asignación de clases estructurales a madera con un contenido de humedad mayor o igual que 20% o a piezas de espesor mayor que 100 mm, se realiza mediante la relación: la agrupación de la madera para el estado verde y el grado estructural especificado, de acuerdo a la interacción en la tabla 6 del capítulo II. Para este caso del Pino Insigne el agrupamiento de madera con estado de humedad mayor a 20% es de clasificación E6.

La asignación de clases estructurales a madera con un contenido de humedad menor o igual que 12% y de espesor menor o igual a 100 mm, se realiza mediante la relación: la agrupación de la madera para el estado seco y el grado estructural especificado, de acuerdo a la interacción en la tabla 7 del capítulo II. Para este caso del Pino Insigne el agrupamiento de madera con estado de humedad menor a 12% es de clasificación ES5.

A las piezas con espesor mayor que 100 mm se les debe suponer siempre un contenido de humedad mayor que 20% en el momento de la construcción, salvo que un estudio específico pruebe otra condición

La madera que se clasifica, fabrica o instala con un contenido de humedad superior al 20%, pero que en servicio tendrá un contenido de humedad no mayor que 12%, puede ser considerada con tensiones admisibles madera seca (12 %), y el módulo de elasticidad con madera seca (12%), datos que se aplican a la tabla antes señalada, con la condición que:

- a) El espesor de la madera no exceda de 50 mm;
- b) La carga total de diseño no se aplique antes de que la madera se haya secado a un contenido de humedad no mayor que 12%;
- c) Las tensiones debidas a la carga de peso propio, los procedimientos de construcción y cualquier otra sollicitación aplicada antes que la madera se haya secado a un contenido de humedad no mayor que 12%, no deben originar tensiones efectivas superiores a la tensión admisible para la condición verde.

1.6.4 Elementos en compresión paralela

1.6.4.1 Longitud efectiva de pandeo, l_p

La longitud efectiva de pandeo, l_p , se debe considerar como la distancia entre dos puntos de inflexión adyacentes, entre los que el elemento comprimido se deforma adoptando una curvatura simple. Para piezas comprimidas rectas, sujetas en sus extremos por medios de unión mecánicos (clavos, conectores, pernos, etc.) los valores de l_p se pueden adoptar ya sea de Tabla 14, en la que la longitud real de la pieza se ha designado como l .

Longitudes efectivas de pandeo, l_p , de piezas comprimidas

| | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|--|---|---|
| Configuración de pandeo |  |  |  |  |  |  |
| Valores para l_p / l | 0,70 | 0,85 | 1,50 | 1,0 | 2,50 | 2,50 |
| Condiciones de apoyo |     | Impedimento de giros y desplazamientos Libertad de giro, impedimento de desplazamiento Impedimento de giro, libertad de desplazamiento Libertad de giros y desplazamientos | | | | |

Tabla 14 – Referencia Nch 1189 Of. 2006

1.6.4.2 Restricciones de esbeltez

La esbeltez $\lambda = l_p / i$ no debe exceder de 170 para piezas principales o de 200 para elementos constituyentes de sistemas arriostrantes que quedan comprimidos únicamente bajo los efectos de estados de carga eventuales, que incorporan las solicitaciones de viento y sismo. En la expresión de la esbeltez, i corresponde al radio de giro que condiciona el pandeo relativo a la longitud efectiva de pandeo l_p .

1.6.4.3 Tensión de diseño

- a) Si el elemento no presenta problemas de inestabilidad lateral ($\lambda < 10$), la tensión de diseño se determina mediante la expresión siguiente:

$$F_{cp, dis} = F_{CP} \cdot K_H \cdot K_D$$

en que:

$F_{cp dis}$: Tensión de diseño en compresión paralela, en MPa;

F_{cp} : Tensión admisible en compresión paralela, en MPa,

K_H : Factor de modificación por contenido de humedad,

K_D : Factor de modificación por duración de la carga,

1.6.5 Elementos en tracción paralela

1.6.5.1 Tensión de trabajo

La tensión de trabajo en tracción paralela a la fibra se calcula considerando el área neta, mediante la expresión:

$$f_{tp} = \frac{T}{A_n} \cdot 10^3 \text{ (MPa)}$$

En que:

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

T : Solicitación de tracción axial, en kN;

A_n : Área neta de la sección, en mm².

El área neta no puede ser menor que el 75% de la sección transversal bruta.

La tensión de diseño en tracción paralela a la fibra, $F_{tp, dis}$, se determina de la expresión:

$$F_{tp, dis} = F_{tp} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_{hf} \cdot K_{ct}$$

En que:

$F_{tp, dis}$: Tensión de diseño en tracción paralela, en MPa;

F_{tp} : Tensión admisible en tracción paralela, en MPa;

K_H y H_D : Factores de modificación por humedad y duración de carga respectivamente;

K_{hf} : Factor de modificación por altura,

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

ANEXO 2**FACTOR DE MODIFICACION POR CONTENIDO DE HUMEDAD K_H**

La asignación de las tensiones admisibles y del módulo elástico a piezas de madera aserrada con espesores menores o iguales a 100 mm, y que se construye con un contenido de humedad (HC) comprendido entre 12 % y 20 %, se puede obtener por interpolación lineal entre los valores de tensión admisibles para madera en estado verde y madera en estado seco, aplicando sobre la tensión admisible en condición seca el factor de modificación siguiente:

$$K_H = (1 - \Delta H * \Delta R)$$

En que:

K_H = factor de modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico, definidos para una humedad de 12 %.

ΔH = diferencia entre el valor de contenido de humedad de servicio (HS) y 12 %.

ΔR = variación de la resistencia por cada 1 % de variación de contenido de humedad. (ver tabla anexa).

Variación de las Propiedades Resistentes para una Variación del Contenido de Humedad Igual a 1 %.

| Solicitud | Variación de la Resistencia para $\Delta H = 1\%$ (ΔR) |
|----------------------------------|--|
| Flexión | 0.0205 |
| Compresión paralela a las fibras | 0.0205 |
| Tracción paralela a las fibras | 0.0205 |
| Cizalle | 0.0160 |
| Compresión normal a las fibras | 0.0267 |
| Módulo de elasticidad en flexión | 0.0148 |

ANEXO 3

FACTOR DE MODIFICACION POR DURACION DE CARGA K_D

Según sea la duración de la carga que afecta la estructura, se aplicará el factor de modificación siguiente:

$$K_D = (1,747 / t^{0,0464}) + 0,295$$

En que:

t = duración de la carga, en segundos.

En aquellos casos en que se combinen cargas de diferente duración se utilizará el factor de modificación correspondiente a la carga de menor duración.

El factor de modificación por duración de carga no afecta al módulo de elasticidad en flexión ni a la tensión admisible de compresión normal a la fibra.

ANEXO 4

FACTOR DE MODIFICACION POR TRABAJO CONJUNTO K_c

Las tensiones admisibles para elementos estructurales que conforman un sistema que comparte la carga, consistente en tres o más elementos paralelos distanciados en no más de 610 mm y dispuestos de tal forma que en conjunto pueden soportar la carga aplicada, deben ser multiplicadas por el factor de modificación por trabajo en conjunto, de acuerdo con la Tabla anexa.

Factor de Modificación por Trabajo en Conjunto

| Tensión admisible afectada | Madera aserrada cuya menor dimensión, en mm, ES | |
|----------------------------------|---|--------------|
| | Menor que 114 mm | 114 mm o más |
| Flexión | 1,15 | 1,15 |
| Cizalle | 1,15 | 1,10 |
| Compresión paralela a las fibras | 1,10 | 1,10 |
| Compresión normal a las fibras | 1,10 | 1,10 |
| Tracción paralela a las fibras | 1,00 | 1,00 |
| Módulo de elasticidad en flexión | 1,00 | 1,00 |

ANEXO 5

FACTOR DE MODIFICACION POR ALTURA K_{hf}

Para todas las especies forestales, con la sola excepción del Pino radiata, en piezas traccionadas o vigas rectangulares de ancho o altura superior a 50 mm, este factor se evalúa de acuerdo con la expresión:

$$K_{hf} = (50/h)^{1/9}$$

En que:

K_{hf} = factor de modificación por altura.

h = ancho de la pieza traccionada o altura de la viga.

Para piezas de Pino radiata de altura superior a 90 mm, la expresión que se debe considerar es:

$$K_{hf} = (90/h)^{1/5} \leq 1$$

ANEXO 6

OBSERVACIONES COMPARATIVAS DE VIGAS DE TEXTOS CITADOS

DE LA PEÑA AZNAR, JUAN; *Vigas de Madera para Encofrados de Madera*

Las vigas en celosía son superiores a las de alma llena, en lo que a determinación de tensiones se refiere. En las primeras como son isostáticas se sabe que los cordones superior o inferior están sometidos a compresión o tracción, según trabaje la viga y las diagonales también o tracción o compresión, dependiendo el esfuerzo cortante del coseno del ángulo que toman los cordones. En cambio, de las vigas de alma llena, se sabe que el cortante lo tiene que resistir prácticamente solamente el alma en sentido vertical. Pero por un principio elemental de equilibrio de los elementos prismáticos del alma, las tensiones cortantes verticales originan unas tensiones rasantes horizontales iguales a aquellas y perpendiculares a las mismas.

Las vigas en celosía también son superiores a las de alma llena por varias razones más. En primer lugar son más ligeras; en segundo lugar a las de alma llena se les practican en esta unos grandes taladros cada cierto espacio para poder introducir por ellos riostras, cables u hondillas de grúa para su manejo mecanizado, y en esos taladros existe una concentración de esfuerzos cortantes y rasantes peligrosos; en tercer lugar el alma no conviene que sea de un tablero de una pieza, sino formado por tres tableros con sus fibras orientadas perpendicularmente para estabilizarlos y evitar posible alabeos. Pero encolar tanta superficie de tablero es costoso, y en los frentes de la viga siempre existe el peligro de que por las uniones penetre la humedad y desarme el alma en sus componentes, con los consiguientes efectos desastrosos que ello supone, empezando por el acortamiento de la vida útil de la viga.