UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES

"DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE VIGAS CON PERFIL "T" DE FERROCEMENTO"

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFERSOR GUÍA.
SR. HERNÁN ARNÉS VALENCIA
INGENIERO CIVIL

RODRIGO ANDRÉS CARRILLO MORA
2003

DEDICATORIA:

ESTE TRABAJO SE LO DEDICO DE TODO CORAZÓN A MIS PADRES, BERNARDO Y JANE, POR EL APOYO QUE ME HAN DADO DURANTE TODA MI VIDA, TAMBIÉN, POR BRINDARME TODAS LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA CONSEGUIR ESTE ANHELADO LOGRO Y POR EL AMOR QUE CON SUS GESTOS ME HAN DEMOSTRADO DÍA A DÍA.

A MIS HERMANOS, TOMÁS Y FERNANDA, POR TRANSMITIRME SU ALEGRÍA, AFECTO, Y POR SER COMO SON.

A MI POLOLA JAVIERA, POR SU APOYO INCONDICIONAL Y POR CUIDAR TAN BIEN A NUESTRA HIJA, DÁNDOME LA TRANQUILIDAD NECESARIA PARA QUE PUEDA TRABAJAR EN ESTA TESIS.

Y POR ÚLTIMO A MI AMADA HIJITA JOSEFA QUIEN ES LA FUENTE DE INSPIRACIÓN DE ESTE Y TODOS LOS LOGROS QUE PUEDA OBTENER EN EL FUTURO.

AGRADECIMIENTOS

Debo dar mis más profundos agradecimientos a todas las personas que de alguna u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

En primer lugar debo agradecer a Dios por darme la fuerza espiritual que he necesitado en momentos de debilidad y por permitirme tener todo para ser feliz.

A la empresa Hormigones Premix sucursal Valdivia por la donación realizada, especialmente al Sr. Gonzalo Baeza, administrador de la planta, por su gran disposición en colaborar con este trabajo, y por supuesto a mi amigo Rodrigo Herrera, jefe de operaciones.

Y por último, debo agradecer también a todos los amigos que me colaboraron en la fabricación y ensayos de las vigas, en este aspecto no puedo dejar de nombrar a León Toloza y Claudio Cofré, con quienes compartí varias jornadas de trabajo para que esto salga adelante.

ÍNDICE.

I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

1.1.- Introducción.....1
1.2.- Reseña Histórica.....3
1.3.- Objetivos..... 5
1.3.1.- Objetivo General..... 5
1.3.2.- Objetivos Específicos..... 5
1.4.- Metodología de Trabajo..... 6

II.- PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO..... 8

2.1.- Definición..... 8
2.1.1.- Armadura Difusa..... 8
2.1.2.- Armadura Discreta..... 9
2.2.- Materiales Constituyentes del Ferrocemento..... 10
2.2.1.- La Armadura..... 11
2.2.2.- El Mortero..... 16
2.3.- Propiedades Mecánicas del Ferrocemento..... 23
2.3.1.- Introducción..... 23
2.3.2.- Resistencia a la Compresión..... 23
2.3.3.- Resistencia a la Tracción..... 24
2.3.4.- Resistencia a la Flexión..... 26
2.3.5.- Resistencia al Corte..... 26
2.3.6.- Resistencia a la Fatiga..... 27
2.3.7.- Resistencia al Impacto..... 27
2.3.8.- Resistencia al Fuego..... 28
2.3.9.- Durabilidad..... 28

III.- NORMATIVA, PROCESO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGA CON PERFIL “T” DE FERROCEMENTO..... 30

3.1.- Introducción..... 30

3.2.- Normas y Códigos.....31
3.3.- Cargas de Diseño y Combinaciones de Carga.....32
3.3.1.- Cargas de Diseño.....32
3.3.2.- Combinaciones de Carga.....35
3.4.- Requisitos de Resistencia.....36
3.5.- Suposiciones para el Diseño de Elementos de Ferrocemento.....38
3.6.- Momento Último de Diseño.....40
3.7.- Desarrollo de Ecuaciones de Diseño.....44
3.8.1.- Diseño por Resistencia a Flexión.....45
3.8.- Diseño de Viga "T" de Ferrocemento a Ensayar.....50
3.8.1.- Momento Último de Diseño.....50
3.8.2.- Cálculo de Cuantías y Áreas del Refuerzo.....51
3.8.3.- Dibujo Final de la Viga Diseñada.....58
3.9.- Diseño Alternativo.....59

IV.- FABRICACIÓN DE VIGA CON PERFIL "T" DE FERROCEMENTO.....62

4.1.- Fabricación del Moldaje.....62
4.2.- Fabricación de la Armadura.....64
4.3.- Vaciado del Mortero.....66
4.4.- Desmolde.....67

V.- ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN A APLICAR Y PREDICCIÓN DE LA CARGA QUE VA A SOPORTAR LA VIGA.....68

5.1.- Introducción.....68
5.2.- Generalidades del Ensayo de Flexotracción.....69
5.2.1.- Definición del Ensayo.....69
5.2.2.- Diagrama de Momento y Corte.....70
5.3.- Equipo y Materiales a Utilizar.....71
5.4.- Predicción de la Carga "P" que va a Soportar la Viga.....72

VI.- RESULTADOS DEL ENSAYO.....74

6.1.- Introducción.....74
6.2.- Tablas y Gráficos.....78
6.3.- Análisis de Resultados.....85

VII.- PROPUESTA DE DISEÑO PARA LOSA DE ENTREPISO A PARTIR DE VIGA CON PERFIL “T” DE FERROCEMENTO..... 88

VIII.- CONCLUSIONES..... 90

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación consiste en diseñar, construir y ensayar vigas con un material que se utiliza poco en nuestro país, el *ferrocemento*.

El objetivo principal de esta tesis es estudiar la factibilidad de prefabricar vigas con perfil "T" de ferrocemento, para así, ver la posibilidad de que surja otra alternativa, en cuanto a elementos estructurales, en la construcción e ingeniería, que puede llegar a ser muy útil en nuestro país. Además, se pretende mostrar una metodología de diseño, pautas para la fabricación, detalles del ensayo a *flexotracción* a realizar en las tres vigas construidas y, finalmente, plantear las pautas para construir una losa de entrepiso utilizando las vigas.

SUMMARY

The following graduation work consists on the design, construction and testing of beams with *ferrocement*, a material that is not usually used in our country.

The main objective of this thesis is to study the feasibility of prefabricate *ferrocement* beams with "T" profile, to seek for structural elements alternatives that could be very useful in our country. Also, a design method, guide-lines for construction, details of the *flexotraction* test to be done on the three constructed beams, and finally, the state of the guide-lines for the construction of a slab between floors using the beams, are to be shown.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

En la presente memoria de titulación se estudiará un material para construcción que ha sido poco estudiado y utilizado en nuestro país hasta ahora, se trata del *ferrocemento*. El ferrocemento difiere del hormigón armado en forma convencional sobre todo por la disposición en que se distribuyen y colocan los elementos que constituyen la armadura del elemento. Este, generalmente se presenta como una delgada capa de hormigón (mortero), flexible, que presenta un número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro distribuidas uniformemente a través de la sección transversal y longitudinal del elemento. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notable en diferentes aspectos mecánicos, que en el transcurso de esta tesis se irán apreciando.

La idea básica de este material es que el mortero pueda experimentar mayores deformaciones en las cercanías del refuerzo sin fisurarse, y que la magnitud de las deformaciones dependa de la subdivisión y distribución del refuerzo a través de la masa del mortero[(IV)].

El *ferrocemento* se conoce hace más de cien años, exactamente desde el año 1852, sin embargo, es en las últimas décadas donde se han llevado a cabo en el mundo varios estudios teóricos y principalmente experimentales para investigar las propiedades de este material, y para explotar su campo potencial de aplicaciones. Se han proyectado y materializado diversos tipos de construcciones, aunque hay que reconocer que históricamente se ha utilizado con mayor fuerza en el ámbito naval, principalmente desde la Primera Guerra Mundial, aunque también se ha aplicado en construcciones industriales y sociales, en la agricultura, en la construcción de viviendas, depósitos, puentes, piscinas, y otros. Este material es más adecuado en los países en desarrollo porque se dispone de la materia prima natural, y es fácil adquirir la habilidad necesaria en la mano de obra para su construcción. En Chile se ha explotado muy poco esta técnica en la construcción, desde hace un par de décadas solo se han construido algunas viviendas en donde el

ferrocemento se ha hecho presente principalmente a través de paneles para aislar diferentes espacios.

Es por esto que surge la necesidad de aumentar la aplicación de este material requiriendo para esto pautas de diseño y la fabricación de elementos estructurales que nos permitan considerar al *ferrocemento* como una alternativa viable para desarrollar en el campo de la ingeniería y construcción.

En este trabajo se diseñará una viga con perfil “T” de este material, posteriormente se construirán tres vigas iguales con estas características, las cuales se ensayarán a *flexotracción*. Una vez obtenidos los resultados se evaluará si es factible prefabricar vigas de este tipo sometidas a sobrecargas de uso normales y además ver la posibilidad de fabricar una losa de entrepiso utilizando las vigas con perfil “T” de *ferrocemento* como una alternativa de construcción.

El motivo por el que se construirán tres vigas, y no solo una, es para tener una visión más amplia del comportamiento estructural y de las propiedades mecánicas de la viga de ferrocemento a ensayar, obteniéndose así, resultados estadísticamente más aceptables.

1.2.- RESEÑA HISTÓRICA.

El origen del ferrocemento se remonta al año 1852 cuando el francés *Joseph Louis Lambot* (1814 – 1885)[IV] patentó este material constructivo al que llamó *"Ferciment"*, con él construyó diferentes elementos como botes a remo, recipientes, asientos, etc[IX]. Justamente, a partir de aquí, en la segunda mitad del siglo XIX se desarrolló el uso de este material principalmente en embarcaciones, dentro de los que se destacan en esta época están Holanda y Estados Unidos, entre otros[II].

Pero, el mayor auge en la construcción de embarcaciones no fue sino hasta la Primera Guerra Mundial donde se mejoró y desarrolló notablemente la técnica constructiva. Posteriormente, el Ingeniero y Arquitecto italiano, *Pier Luigi Nervi* (1881 – 1960)[IV], considerando las ideas originales de *Lambot* observó que el mortero con las diversas capas de alambre como armadura, presentaba notables propiedades mecánicas. Y fue así como se convirtió en el primero en emplear el ferrocemento en edificaciones. Nervi tenía como base conceptual la mayor deformación del material como consecuencia de una mayor subdivisión y distribución del refuerzo metálico en el mortero[IV]. Además propuso diferentes sistemas constructivos, como también, diseñó y construyó diversas estructuras de techumbre con este material, de las cuales muchas se conservan hasta nuestros días[VIII].

Mas adelante, el interés por este notable material, fue creciendo y es como en 1968 *Richard Hartley* formó la *"New Zealand Ferro-Cement Marine Association"* (NZFCMA), cuyo propósito principal fue fomentar y mejorar la construcción marina de ferrocemento. En 1977, se establece el Comité 549 sobre ferrocemento, creado por el *American Concrete Institute* (ACI), con la tarea de formular un reglamento de práctica el cual ha servido de guía para muchas construcciones con este material[IX]. En la República Popular China, la construcción de barcos de ferrocemento también tuvo un gran desarrollo, construyendo desde pequeños botes para su uso en la agricultura, hasta, grandes barcos para transporte de 600 personas y de carga de 3000 toneladas[IV].

Con el transcurso de los años se ha fomentado un poco más el uso del ferrocemento a nivel mundial y se han organizado, principalmente en los años noventa, diferentes Seminarios y Congresos internacionales. Siendo Cuba, uno de los países que también se ha destacado en aplicar este material en sus construcciones y en desarrollar, también, los primeros

seminarios sobre el tema en Latinoamérica, sin dejar de lado a México y Brasil[VIII], que también han hecho su aporte creando normas y haciendo estudios referente al tema.

Es de destacar el papel desempeñado por el Centro de Información Internacional del Ferrocemento (IFIC) en la divulgación y desarrollo de este material. Creado en octubre de 1976 y teniendo como sede el Instituto Asiático de Tecnología de Bangkok, Tailandia. Este centro elabora una de las pocas publicaciones sistemáticas que sobre ferrocemento se elaboran a nivel mundial hasta el presente[IV].

Como vemos, día a día, el ferrocemento está cobrando mucho más auge y seguramente dentro de pocos años se convertirá en un material constructivo de mucho uso en obras de Ingeniería, Construcción y Arquitectura.

1.3.- OBJETIVOS.

1.3.1.- Objetivo General.

Estudiar la factibilidad de prefabricar vigas con perfil “T” de ferrocemento.

1.3.2.- Objetivos Específicos.

- Diseñar una viga de ferrocemento con perfil “T”, considerando las cargas permanentes y sobrecargas de uso normales de acuerdo a lo dispuesto en la *Norma Chilena*.

- Fabricar y ensayar vigas con perfil “T” de este material, sometidas a un ensayo de flexotracción.

- Obtener el Módulo de Elasticidad o Módulo de Young del *ferrocemento*.

- Verificar las propiedades mecánicas del elemento estructural a construir con ferrocemento.

- Plantear las pautas para la construcción de una losa utilizando las vigas de sección “T” de ferrocemento diseñadas, fabricadas y ensayadas previamente.

1.4.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.

En líneas generales, después de haber diseñado la viga, se procederá a su fabricación y posteriormente a su ensayo. Estas dos últimas etapas se desarrollarán como a continuación se describe.

En el caso de la fabricación de la viga "T" de *ferrocemento*, primero que nada se confeccionará el moldaje a utilizar, el cuál, considerando que la viga será de 4.8 m, longitud que nos permite su utilización en espacios amplios, se construirá con una madera apropiada para no tener problemas con posibles deformaciones. Además, como el mortero a utilizar será bastante licuado, y para evitar que la madera pueda retener parte del agua de la mezcla, y variar las propiedades de esta, se recubrirá completamente la zona de contacto entre la madera y el mortero, con algún elemento que nos sirva de aislante y desmoldante.

Una vez listo el moldaje, se procederá a la confección de la armadura, en la cuál se utilizará como armadura difusa, malla hexagonal, y como armadura discreta, barras de acero para refuerzo de hormigón y malla soldada. Todos estos elementos y términos se definirán y describirán más adelante, además, se precisarán las cantidades en el posterior diseño.

Cuando la armadura de las tres vigas a diseñar esté completamente lista se procederá a colocar dentro del moldaje, y se afinarán los últimos detalles para que el conjunto quede en óptimas condiciones para recibir al mortero a depositar dentro de este.

Con respecto a el mezcla a utilizar hay que decir que se ocupará un mortero premezclado donado por la empresa HORMIGONES PREMIX S.A. de la planta Valdivia. Este mortero será con un cono muy elevado y hecho con arena fina, para tener la seguridad de que penetre en todas partes de la armadura y el moldaje. Las especificaciones de resistencia, dosificación y descripción de los elementos componentes del mortero se describirán en su debido momento.

Una vez vaciada la mezcla, se dejarán transcurrir un par de días y se procederá al desmolde de estas, posteriormente se esperará el tiempo adecuado para que las vigas estén aptas para el ensayo, este tiempo va a depender de las características del hormigón que se darán posteriormente.

El ensayo a realizar en las vigas será el denominado *"Ensayo a Flexotracción"* y consiste en aplicar dos cargas en los extremos del tercio central de la viga, estando esta simplemente apoyada. Para ejecutarlo se necesita un laboratorio de ensayo para hormigones con la instrumentación e infraestructura adecuada para no tener problemas técnicos a la hora de realizarlo.

La totalidad de esta experiencia se llevará a cabo en el "Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, L.E.M.C.O.", dependiente del Instituto de Obras Civiles de la Universidad Austral de Chile, y ubicado en el Campus Miraflores de esta entidad educativa.

CAPÍTULO II

PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO

2.1.- DEFINICIÓN.

El ferrocemento es un material compuesto que consta de una delgada capa de mortero (2 o 3 cm) de cemento densa y homogéneamente armado con fibras de refuerzo que reciben el nombre de armaduras[(II)], las que se presentan generalmente como mallas continuas de alambre de acero dúctil de pequeños diámetros[(VII)], que pueden estar sostenidas por barras de acero de mayor diámetro.

La función del refuerzo en ferrocemento es, en primera instancia, conformar la estructura y soportar el mortero sin fraguar (en el caso de no usar moldaje) y posteriormente absorber los esfuerzos de tracción que el mortero solo no sería capaz de soportar, y favorecer el surgimiento de una configuración de fisuras poco espaciadas[(IV)].

Las armaduras del ferrocemento se pueden clasificar en dos tipos:

2.1.1.- Armadura Difusa.

Compuesta por una o más capas de malla de alambre, que ayudan a absorber la retracción hidráulica del mortero y se distribuyen uniformemente dentro de este, además, al ser solicitados los elementos estructurales, retarda la aparición de las primeras grietas[(II)].

Las mallas que componen la armadura difusa son de pequeño diámetro y pueden ir soldadas o entretejidas, generalmente con un espaciamiento pequeño[IV].

Una de las características principales que debe tener esta armadura es que debe ser fácil de manejar y lo más importante es que debe tener buena trabajabilidad, para así no tener problemas para ser doblada y ajustarse lo mejor posible al moldaje, si es que se requiere de este.

2.1.2.- Armadura Discreta.

Se refiere a la armadura resistente y se distinguen dos tipos.

- *Armadura de esqueleto*: tiene como función otorgar resistencia al elemento y además sostener a la armadura difusa. Son barras de acero de entre 4 y 12 mm de diámetro[II], que van soldadas o amarradas firmemente entre sí, lo más espaciado posible[VI]. Se distribuyen de forma longitudinal y transversal dando forma al elemento de ferrocemento deseado.

- *Armadura suplementaria*: estas también son barras de acero pero su función es netamente de resistencia o estructural[II], actúa en conjunto con las mallas de la armadura difusa. La armadura suplementaria, al igual que la armadura de esqueleto, puede presentarse en diferentes formas, dependiendo de su resistencia, recubrimiento, tamaño, etc. características que finalmente inciden en su comportamiento.

2.2.- MATERIALES CONSTITUYENTES DEL FERROCEMENTO.

A continuación se describirán los materiales que se utilizarán para la fabricación del ferrocemento en este trabajo de investigación. Se detallarán en dos grupos principales, primero, los principales componentes de la armadura y posteriormente todo lo relacionado con el mortero a utilizar.

2.2.1.- La Armadura.

Los tipos de armadura ya fueron definidos anteriormente, por lo que a continuación se detallarán directamente los componentes reales de la viga de ferrocemento a construir.

2.2.1.1.- Armadura Difusa.

Cabe destacar que como armadura difusa se pueden ocupar diferentes tipos de mallas, en este caso se ocupará la más común que es la malla hexagonal.

a.- Malla de Alambre Hexagonal:

La malla hexagonal está compuesta por alambres de pequeño diámetro y se fabrican con alambre estirado en frío. El proceso de producción consiste en el entrelazamiento de alambres galvanizados, generalmente con patrones hexagonales[(VII)].

Para ferrocemento los diámetros varían entre 0.1 y 0.8 mm, y de abertura de malla aproximadamente desde ½” a 1 ½”. Lo descrito anteriormente hace que la malla posea una gran

flexibilidad, y es por esto justamente que se necesita de la armadura discreta de esqueleto, para afirmar las mallas y poder amarrarlas correctamente.

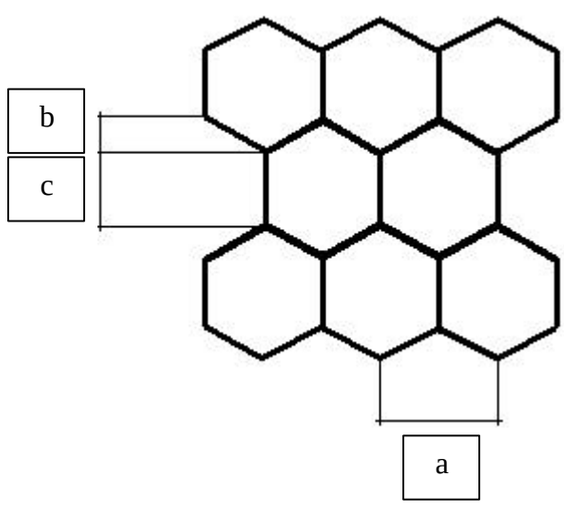
La malla hexagonal galvanizada presenta varias ventajas, destacándose entre ellas, que tiene protección contra la corrosión, no se desteje debido a su triple torsión en las amarras, además, tiene como característica ser una estructura resistente y moldeable[(II)].

En el caso de la viga a diseñar, se utilizará una malla hexagonal con las siguientes características:

Tipo	**Abertura (pulg.)**	**Alambre BWG**	**Peso aprox. (kg/m^2)**	**Diámetro (mm)**	**Carga Rup. (kg)**	**Zinc (gr/m^2)**
1 x 21	1”	21	0.36	0.76	14	28

(Tabla 2.1)

La malla se presenta de la siguiente forma:



(Figura 2.1)

Donde:

a: 25.4 mm

b: 12 mm

c: 12 mm

2.2.1.2.- Armadura Discreta.

Como se mencionó anteriormente existen dos tipos de armadura discreta, la armadura de esqueleto y la armadura suplementaria.

En la viga a diseñar se utilizarán ambas armaduras con el fin de sostener la malla a colocar perteneciente a la armadura difusa y agregar más resistencia a la viga. En nuestro caso utilizaremos como armadura discreta barras de refuerzo para hormigón y la malla soldada.

a.- Barras de Refuerzo para Hormigón:

Las barras de refuerzo para hormigón son de acero y se presentan de diferentes diámetros, poseen sección circular y tienen resaltes para una mejor adherencia y anclaje al hormigón.

Estas barras se usan generalmente en la confección de armaduras de cualquier elemento de hormigón armado, ya sea vaciado en obra, pretensado o premoldeado.

En ferrocemento, se utilizan barras de diámetro variable, entre 5 y 12 mm, intentándose siempre usar barras de diámetro lo más pequeño posible, para así mejorar el comportamiento del ferrocemento ante la fisuración.

El tipo de acero para todas las barras a utilizar cumple con lo dispuesto en la *Nch 204 of 77*, además se usará solamente acero del tipo A44-28H. Esta nomenclatura se traduce a lo siguiente[iii]:

A	Acero de Carbono
44	440 Mpa (límite ruptura)
28	280 Mpa (límite fluencia)
H	Uso en hormigón armado

(Tabla 2.2)

La armadura discreta en este caso comprenderá solamente a barras de acero estriado de 8 y 12 mm de diámetro. Siendo ambas usadas como armadura discreta de esqueleto, pero utilizándose también la barra de 12 mm como función estructural. Estas barras poseen las siguientes características[iii]:

Características Nominales			
Diámetro, e (mm)	**Masa (kg/m)**	**Sección (cm^2)**	**Perímetro (cm)**
8	0.395	0.503	2.51
12	0.888	1.13	3.77

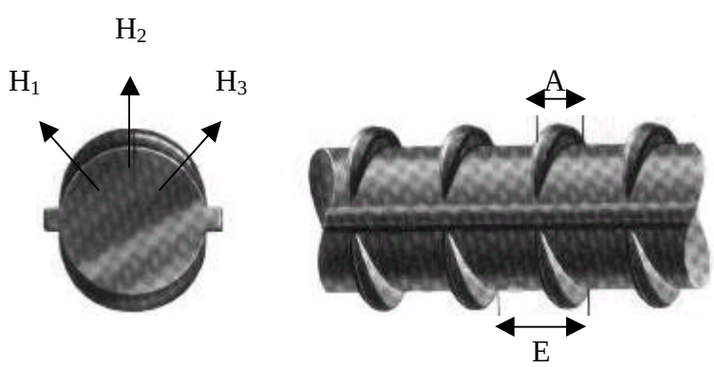
(Tabla 2.3)

Las dimensiones de los resaltes son las siguientes[iii]:

Diámetro de la barra (mm)	**Espaciamiento medio máximo, E (mm)**	**Altura media mínima, H (mm)**	**Ancho base máximo, A (mm)**
8	5.6	0.32	2.0
12	8.4	0.48	3.0

(Tabla 2.4)

Esto se puede apreciar en la (Figura 2.2)



(Figura 2.2)

Con:

$$H = (H_1 + H_2 + H_3) / 3$$

b.- Malla Soldada:

Esta malla está constituida por alambrones de acero que forman cuadrados o rectángulos. Estos alambres o alambrones son rectilíneos y están soldados en sus intersecciones[(VII)].

La malla soldada es mucho mas rígida que la hexagonal, y es por eso que su función generalmente se aplica al ámbito estructural. Debido a sus características, se puede adaptar fácilmente a el montaje en superficies planas, es por esto que se puede utilizar con éxito en la construcción de piezas prefabricadas de ferrocemento.

En el caso de la viga perfil "T" de ferrocemento a construir, se utilizará malla electrosoldada ACMA®, la cual es fácil de adquirir en nuestro mercado. Posee varias propiedades que la hacen más confiable, una de ellas es que la malla es soldada por fusión eléctrica, o sea, sin aporte de material, la ventaja de esto es que permite uniones de más sólidas, con terminaciones de alta calidad, y que no se "corren". Además, los cruces soldados a lo largo de las barras proporcionan un anclaje efectivo del hormigón[(i)].

Estas mallas cumplen satisfactoriamente con las Normas Chilenas establecidas por el *Instituto Nacional de Normalización* (INN):

- *NCh 219. Of 77 "Construcción – Mallas de Acero de Alta Resistencia – Condiciones de Uso en el Hormigón Armado"*, esta, establece las condiciones de uso de la malla soldada fabricada con alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado.

- *NCh 218. Of 77 "Acero – Mallas de Alta Resistencia para Hormigón Armado – Especificaciones"*, en que se señalan los requisitos que deben cumplir las mallas de acero de alta resistencia, para su uso en hormigón armado.

- *NCh 1173 of 77*, que establece los requisitos que debe cumplir el alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado.

Otro aspecto importante de la malla soldada ACMA® es su gran resistencia lo que hace que se trabaje con secciones pequeñas, el acero es del tipo AT56-50H, esta nomenclatura se traduce de la siguiente forma[(i)]:

A	Acero
T	Trefilado
56	5600 kg/cm^2 (límite de ruptura)
50	5000 kg/cm^2 (límite de fluencia)
H	Hormigón

(Tabla 2.5)

En el caso de la viga a diseñar, se utilizará una malla electrosoldada ACMA® con las siguientes características:

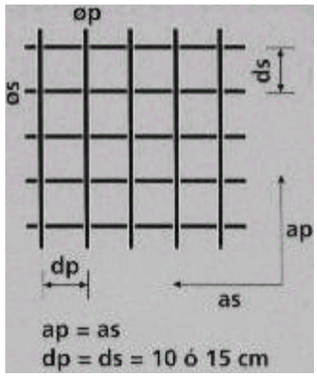
Tipo de Malla	**Distancia Barras**		**Diámetro Barras**		**Sección de Acero**		**Peso de Malla (kg)**
	Longit. (mm)	**Transv. (mm)**	**Longit. (mm)**	**Transv. (mm)**	Longit. (cm^2/m)	Transv. (cm^2/m)	
C139	100	100	4.2	4.2	1.39	1.39	28.34

(Tabla 2.6)

C : Abertura cuadrada. (Ver Figura 2.3)

Medidas: 2.6 x 5.0

Como se aprecia en la siguiente Figura:



(Figura 2.3)

2.2.2.- <u>El Mortero.</u>

El mortero utilizado normalmente en el ferrocemento es una mezcla de cemento hidráulico y arena al que eventualmente se le pueden añadir aditivos que mejoren sus propiedades, las que están dadas por el tipo y la calidad de los materiales componentes, la proporción en que son mezclados, las condiciones en que se prepara y los factores ambientales.

Hay gran cantidad de variables que pueden afectar la calidad del producto terminado. Los requerimientos generales para este componente del ferrocemento son que debe tener la mayor resistencia posible a la compresión, impermeabilidad, dureza, resistencia a ataques químicos y quizás el más importante factor de todos, la consistencia de la mezcla que debe permanecer uniforme, compacta y con la menor cantidad de poros independientemente de la concentración de las telas de mallas de refuerzo, ya que, como se conoce, los agentes agresivos del medio ambiente no son sólo los mecánicos que deforman, rompen y desgastan sino también los físico – químicos que provocan sobre todo, la corrosión de las armaduras, desempeñando en esto el mortero un papel muy importante[(IV)].

A continuación se describirán los materiales utilizados en la composición del mortero a utilizar realmente en este trabajo y luego se especificarán las propiedades o especificaciones de este.

2.2.2.1.- Componentes del Mortero.

Como se mencionó anteriormente se trabajará con un mortero premezclado otorgado por la empresa HORMIGONES PREMIX S.A.. Cada uno de los elementos componentes del mortero se describirá en forma general a continuación.

a.- Cemento.

El cemento es un material con propiedades de adherencia y cohesión que lo hacen capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta. En presencia de agua, el cemento reacciona para formar una pasta cementante que con el tiempo forma una masa firme y muy dura.

En el ferrocemento, más que en el hormigón armado, la calidad del cemento puede afectar sensiblemente su comportamiento principalmente en lo que se refiere a la durabilidad de los elementos debido a los pequeños espesores y al reducido recubrimiento del acero.

En el caso del mortero utilizado se utilizó cemento *Melón Extra*, el cual cumple con todos los requerimientos y normas necesarias para hacer una buena mezcla. Este es un cemento *Pórtland* de fraguado rápido el cual, como su nombre lo indica, desarrolla su resistencia más rápidamente, por lo que generalmente se utiliza cuando se requiere alta resistencia inicial, además es de fácil adquisición.

b.- Áridos.

Este material es muy importante pues se encuentra disperso en toda la masa del mortero y ocupa aproximadamente entre el 60 y el 70 % de su volumen, por lo que el árido

utilizado en la producción del mortero debe ser resistente, impermeable, y capaz de lograr una buena penetración en las mallas.

Aspectos importantes a tener en cuenta son el módulo de finura, el área específica, la composición granulométrica y la forma de los granos. Arenas bien graduadas permiten la obtención de morteros más densos, con mejor resistencia a esfuerzos mecánicos y mayor laborabilidad.

El árido utilizado en este caso fue solamente arena fina, debido a el poco espacio que queda entre la armadura, por causa de las diferentes mallas y las barras de acero, a parte de que el espesor del elemento alcanza solamente los 3 cm. Además utilizando arena fina en la mezcla nos aseguramos que el mortero penetre en cada sitio del moldaje y la armadura no permitiendo que se formen espacios vacíos dentro que van en perjuicio de la mezcla.

El origen de la arena es de la extracción un río de la zona, lo que se traduce a que sea de gran calidad. El diámetro aproximado de los granos de arena es menor o igual a los 3 mm, o sea que un alto porcentaje del volumen de este pasa por el tamiz N° 8 e incluso otros más pequeños.

c.- Agua.

Las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia, provocar un manchado en la superficie o provocar corrosión en el refuerzo, es por eso que se deben tomar las precauciones necesarias antes de usar agua que contenga impurezas tales como barro, ácidos, sales solubles, materiales vegetales en descomposición y muchas otras sustancias orgánicas que pueden afectar la calidad de esta. Es por eso que el agua utilizada para la realización del mortero debe ser fresca y cumplir en nuestro país con la *NCh 1498 “Hormigón – Agua de Amasado – Requisitos”*.

En este caso se utilizó agua potable destinada al uso público, pues esta resulta satisfactoria para conseguir una mezcla acorde con las exigencias y no es necesario verificar su calidad.

d.- Aditivos.

Para disminuir el gasto de cemento, mejorar las características físico – mecánicas y acelerar el endurecimiento de los morteros, se utilizan aditivos minerales y químicos que se le adicionan al mortero fresco.

Los aditivos químicos de mayor uso se pueden dividir en función de las características que le introducen al mortero. Los mas comunes son:

- *Plastificantes o reductores de agua*, son aquellos que actúan sobre el mortero fresco y le proporcionan mejor laborabilidad, lo que posibilita reducir la cantidad de agua necesaria para el mezclado con la consecuente mejoría en la resistencia mecánica, impermeabilidad y durabilidad del mortero. Existen, también, los llamados aditivos *superplastificantes* que contienen productos químicos de elevado poder dispersante y permiten la obtención de morteros fluidos, automoldeables, con una significativa reducción de la cantidad de agua (del 25 al 35 %) y que posibilitan el aumento de las resistencias desde las primeras edades.

- *Aceleradores*, son aquellos que aceleran la reacción del fraguado del cemento, y, *retardadores*, son los que retardan la acción de hidratación. Su uso depende de las condiciones particulares de la construcción y del medio ambiente.

- *Los incorporadores de aire* promueven la formación de un número extremadamente elevado de minúsculas burbujas de aire en el mortero y le confieren mejor laborabilidad, impermeabilidad y resistencia al intemperismo.

- *Aditivos de expansión*, son aquellos empleados para provocar una expansión controlada de la pasta de cemento con el objetivo de compensar en general el efecto de la retracción.

- *Impermeabilizantes*, son aditivos empleados para disminuir la permeabilidad del mortero reduciendo los vacíos. Contienen agentes hidrófugos.

Existen otros muchos tipos de aditivos que pueden ser usados en ferrocemento. En todos los casos deben cumplir con las normas vigentes, de no ser así su posible uso estará basado en datos de ensayo sobre el mortero a utilizar.

En el caso del mortero utilizado se incorporaron dos aditivos. Uno fue el AD_R-1000 que es un aditivo *superplastificante* para elevar el cono, el otro fue el AD_P-121 que es un *plastificante o reductor de agua*.

2.2.2.2.- Especificaciones del Mortero.

Hay que decir que el mortero solicitado a la empresa hormigonera no es un producto que generalmente se comercialice, esto es debido a sus particulares características. Antes de fabricarlo se hizo un estudio teórico del cual salió la dosificación final con que se haría la mezcla.

Las características generales del mortero son las siguientes:

- La resistencia f_c será igual a 30 Mpa o 300 kg/cm^2, por lo tanto la f_c' de diseño será igual a 25 Mpa o 250 kg/cm^2.

- El mortero debe ser muy fluido, vale decir con un cono muy elevado (aprox. 20 cm), para que no haya necesidad de vibrar tanto, además, con esto se asegura que la mezcla penetre en cada sitio de la armadura y moldaje.

- Además, el mortero se hará solamente con arena fina, esto es también para facilitar que este penetre en cada sitio de la armadura y el moldaje, debido al poco espacio que queda entre la armadura y el poco espesor de el alma y ala de la viga (3 cm).

La dosificación de las cantidades de material para 1 m^3 de mortero se especifican en la siguiente tabla (estos datos fueron facilitados por la empresa hormigonera).

INSUMO	**CANTIDAD**	**UNIDAD**
Cemento Melón Extra	450	Kg
Agua	271	Lts
Arena Fina	1515	Kg
Aditivo P – 121	2.93	Kg
Aditivo R – 1000	3.5	Lts

(Tabla 2.7)

Observaciones:

- *El cono de llegada a obra fue de 7 cm.*
- *En obra se añadió Aditivo Superplastificante R – 1000 para levantar el cono a 20 cm.*
- *La mezcla se realizó 5 minutos antes de iniciar la descarga.*

Como no hay antecedentes prácticos ni un historial de este producto, para estudiar la resistencia del mortero, al vaciar el mortero en las vigas, paralelamente se hicieron pruebas en probetas *RILEM*, que son probetas que tienen 3 compartimientos similares a pequeñas vigas de medidas 4 x 4 x 16 cm. La forma de colocación del mortero en estas probetas se hace de la siguiente forma: primero, se deposita mortero solamente hasta la mitad en los tres depósitos de la probeta, luego, se compacta este mortero haciendo 60 golpes caída libre a la probeta desde una altura de 1 cm. Luego de esto se deposita más mortero sobre los tres espacios de la probeta hasta sobrepasar un poco el nivel superior de la probeta, para posteriormente proceder a dar nuevamente los 60 golpes de caída libre a la probeta (Fotografía 2.1). Finalmente, se saca el mortero sobrante sobre el nivel superior de la probeta para que quede pareja la superficie libre.

(Fotografía 2.1)

Este mortero depositado en las probetas se desmoldó a los dos días y se procedieron a sumergir las pequeñas vigas en las piscinas de la sala de curado en el laboratorio LEMCO para que así tengan un procedimiento adecuado de curado y endurecimiento.

Posterior a esto se ensayaron cada 7 días, o sea, a los 7, 14, 21 y 28 días de haberse depositado en las probetas. Esto se realizó para ver la resistencia que iba adquiriendo el mortero a través del tiempo, para así saber cuando sería el momento adecuado para ensayar las vigas, o sea, a que edad el mortero adquiere su resistencia de diseño. Los ensayos realizados fueron a *compresión y a flexotracción*.

Los resultados obtenidos se aprecian en la (Tabla 2.8).

EDAD (días)	**N° de Prueba**	**Peso (gr)**	**Compresión (kg/cm^2)**	**Flexotracción (kg/cm^2)**	**Promedio Compresión (kg/cm^2)**	**Promedio Flexotracción (kg/cm^2)**
7	1	545	219	3.32	**219**	3.07
	2	562	219	2.95		
	3	564	219	2.95		
14	1	567	269	3.6	**277**	3.6
	2	564	269	3.6		
	3	548	294	3.6		
21	1	568	312	3.9	**308**	3.7
	2	558	300	3.7		
	3	546	312	3.8		

(Tabla 2.8)

De esta tabla nos interesa la resistencia a compresión (f_c) pues para el diseño se utilizó un f_c' igual a 250 kg/cm^2 por lo tanto el f_c que necesitamos es de 300 kg/cm^2.

Como se aprecia la resistencia f_c promedio se alcanza, en incluso se supera, a la edad de 21 días por lo tanto podemos ensayar las vigas desde cumplida esta cantidad de días en adelante.

2.3.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL FERROCEMENTO.

2.3.1.- Introducción.

En general, tanto en el hormigón armado como en el ferrocemento, la resistencia que este tenga, da una idea general de la calidad del material y se considera como una propiedad muy valiosa. Esto tiene relación directa con las propiedades del mortero y de la armadura que posea.

Una característica fundamental del ferrocemento es que contiene una importante cantidad de armadura en las dos direcciones, esto hace que el mortero adquiera una gran elasticidad y resistencia a la rotura. Esta demostrado que el mortero que esta cercano al refuerzo metálico, tiene la capacidad de soportar importantes deformaciones sin la aparición de grandes fisuras.

En la práctica, el ferrocemento posee propiedades que llegan a superar al hormigón armado tradicional, como su capacidad a la tracción, resistencia al impacto, ductibilidad y resistencia a la fisuración.

Lamentablemente no todas las propiedades mecánicas del ferrocemento han sido investigadas tan a fondo como para deducir fórmulas de diseño, pero de otras si hay información. A continuación se describirán estas propiedades.

2.3.2.- Resistencia a la Compresión.

En el ferrocemento claramente es el mortero quien soporta la mayor parte de las tensiones de compresión, en proporción directa a el área de su sección transversal[(IV)]. Y por supuesto un factor que es muy importante en la resistencia del mortero es la razón agua-cemento, al igual que en los elementos de hormigón armado.

Pero otro aspecto que es muy importante de mencionar, y que puede tener cierta relevancia en el esfuerzo a compresión es el tipo, orientación y colocación del refuerzo[IV]. Y es justamente en este punto donde se ha llegado a la conclusión que en donde hay un incremento importante de compresión, es con el refuerzo de malla cuadrada. Esta, restringe al mortero y lo lleva a adoptar condiciones de tensión mayores[VI].

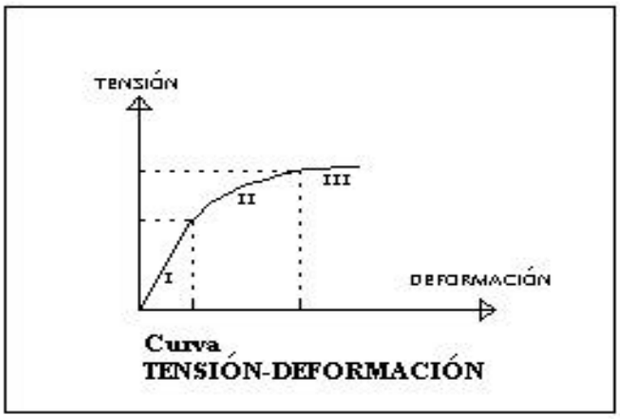
2.3.3.- Resistencia a la Tracción.

En ferrocemento, la resistencia a tracción, corresponde aproximadamente a la capacidad que tienen los elementos de refuerzo a soportar cargas a tracción, o sea, la sumatoria del producto de la resistencia ultima del acero y la sección transversal efectiva, de las mallas y la enfierradura utilizada.

En general, la tensión o resistencia a tracción es igual a la capacidad de soportar cargas a tracción dividida por la sección transversal de ferrocemento[VI].

Existen diferencias de resistencia asociadas a la orientación de el número de elementos por unidad de ancho multiplicado por su área de sección transversal y multiplicado por el coseno del ángulo de inclinación de la aplicación de la fuerza. Esto nos indica que existe una relación entre la resistencia y la orientación de las capas de refuerzo.

Al ser sometido a esfuerzos de tracción, en el ferrocemento se observan tres etapas, las cuales se pueden apreciar en el (Gráfico 2.1)[VII].



(Gráfico 2.1)

Zona I: Rango elástico, la curva es básicamente lineal. Conforme aumenta el esfuerzo el ferrocemento se vuelve casi elástico y aparecen micro grietas.

Zona II: El mortero presenta deformaciones plásticas. Se produce un ensanchamiento de las grietas y la curva ya no es lineal.

Zona III: Ya se han desarrollado a el número máximo de grietas que van a formarse. Finalmente el refuerzo soporta todas las fuerzas de tensión.

Basándose en los resultados de ensayos realizados, se proponen diferentes estados tecnológicos en el trabajo del ferrocemento limitándolos por la abertura de las microgrietas y que se corresponden con los tres estados de trabajo del material[(IV)].

FASE	ESTADO TECNOLÓGICO	ANCHO DE FISURA
Elástica	Impermeable	$\omega = 20\ \mu$
Elasto – plástico	Anticorrosivo I	$20 < \omega = 50\ \mu$
Plástico	Anticorrosivo	$50 < \omega = 100\ \mu$
	Corrosivo	$> 100\ \mu$

(Tabla 2.9)

2.3.4.- Resistencia a la Flexión.

La resistencia a flexión deriva principalmente de la acción combinada del material, vale decir, el mortero trabaja ante el esfuerzo de compresión, y el acero ante el esfuerzo a tracción[(VI)].

La resistencia a flexión también depende del refuerzo en el tipo de malla, su orientación y su geometría intrínseca así como la presencia o no de acero de esqueleto, particularmente cuando se tiene en cuenta la resistencia a la carga en dos direcciones[(IV)].

La influencia de los factores tanto de resistencia a tracción, como los de compresión reflejan la resistencia última a flexión.

En general se ha demostrado, a través de la regresión lineal, que las reglas que obedecen los cálculos de resistencia de ferrocemento, son similares a las del hormigón armado[(II)].

2.3.5.- Resistencia al Corte.

Pocos estudios han incluido un análisis de la resistencia al corte, puesto que el ferrocemento es usado principalmente en flexión, de modo que el corte no es primordial como criterio de falla.

No obstante, algunos fabricantes en ferrocemento, principalmente en la construcción de embarcaciones, han demostrado cualidades de la dureza del material por corte principalmente por punzonamiento, a través, de ensayos como colisiones con rocas u otros botes[(VI)].

Otro punto importante de aclarar es que no se experimenta desunión debido a este esfuerzo entre los materiales componentes de ferrocemento, o sea, la deformación por corte se presenta en el conjunto.

2.3.6.- Resistencia a la Fatiga.

En general, en el ferrocemento, la resistencia a la fatiga es proporcional a la resistencia a la fatiga de los elementos de refuerzo, o sea, principalmente, el tipo de malla a utilizar y el acero de armazón, aunque es muy importante también en cuanto al mortero, propiedades como el tipo de cemento y los métodos de curado.

En ensayos realizados la malla de alambre hexagonal impartió una mayor resistencia a la fatiga que la malla cuadrada soldada y metal desplegado. Además, los resultados implican que la malla reforzada sin galvanizar parece impartir mayor resistencia a la fatiga que la malla galvanizada[(IX)].

2.3.7.- Resistencia al Impacto.

Numerosos trabajos atestiguan la favorable característica del ferrocemento al impacto, casi siempre referidos a situaciones relacionadas con barcos durante colisiones entre ellos, con muelles o con arrecifes. Las principales ventajas que presenta consisten en la resistencia a la desintegración del mortero, localización del daño y fácil reparación[(IV)].

Generalmente los factores que influyen en la resistencia a la primera grieta debido al impacto son, el tipo, la geometría, dirección y superficie específica de la armadura de refuerzo, vale decir, las propiedades del refuerzo influyen sobre esta capacidad de resistencia en el ferrocemento[(VII)]. Además, contra más pequeñas las separaciones del acero de armadura se imparte una mejor resistencia al impacto que con separaciones mayores.

Hay que decir que se considera un poco mayor la resistencia al impacto del ferrocemento, que la del hormigón armado tradicional, esto, debido a su elevada capacidad de absorción de energía[(IX)].

Según resultados de experiencias realizadas se concluye que las barras de acero intermedias, barras de esqueleto, desempeñan un papel importante en la resistencia al impacto y

que el área dañada disminuye a medida que la resistencia y superficie específica de la tela de mallas aumenta[IV].

2.3.8.- Resistencia al Fuego.

La construcción del ferrocemento generalmente se presenta en capas con pequeños espesores, y es por esto, que su resistencia al fuego es débil, además, el bajo recubrimiento que este posee lo hace más deficiente a este riesgo[VI].

2.3.9.- Durabilidad.

En ferrocemento, al igual que en el hormigón armado, el daño a la estructura del mortero puede ser por causas del medio ambiente o por causas internas dentro de el mismo material, aunque existen otros factores que afectan la durabilidad que son únicos del ferrocemento[IV] .

Los factores principales que inciden en la durabilidad del ferrocemento son tres. El primer factor importante es el recubrimiento que tengan los refuerzos, generalmente los espesores con que se trabaja el ferrocemento son pequeños, es por esto que si se está en presencia de líquidos corrosivos muy fuertes, existe la posibilidad de que estos penetren llegando a la armadura de refuerzo. En segundo lugar, el área de la superficie de refuerzo es alta, por lo tanto, el área de contacto donde pueden tener lugar las reacciones de corrosión también es alto. Y tercero, la capa de zinc que tienen las mallas que son galvanizadas, puede producir una reacción desfavorable[VI], al reaccionar con otros refuerzos no galvanizados, produciendo burbujas de hidrógeno en el mortero, lo que puede perjudicar su adherencia[IX].

Si el mortero es de buena calidad, puede mejorar en gran medida su durabilidad. Existen pruebas que demuestran que la absorción de humedad del mortero es insignificante, y mediante el uso de aditivos puede mejorar aun más. Un buen ejemplo de esto son las

embarcaciones, estas obviamente están gran parte del tiempo en contacto con medios húmedos, y hasta hoy, existen barcos de más de cien años que se mantienen aún en buenas condiciones.

CAPÍTULO III

NORMATIVA, PROCESO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGA CON PERFIL "T" DE FERROCEMENTO.

3.1.- INTRODUCCIÓN.

En general una estructura cualquiera debe ser diseñada para que funcione sin que manifieste ningún síntoma que afecte el trabajo que realice al estar sometida a cargas de uso "normales". Además, debe estar preparada para soportar un determinado nivel de carga no usual, pero que puede ser previsible, que pueda producir fallas o su imposibilidad de uso posterior.

En la actualidad, las normas, están preparadas para ofrecer al ingeniero calculista un cierto margen de seguridad, entre la estructura que se construirá, a partir de una serie de hipótesis planteadas inicialmente, y las condiciones de carga más desfavorables a las cuales podría someterse.

Generalmente los países que poseen normas de diseño, las basan en experiencias acumuladas ante un determinado fenómeno, ya sea, a través de ensayos, o de el estudio analítico y estadístico de ese fenómeno.

En Chile, existe un organismo dedicado a la formulación de diferentes normas técnicas, entre las cuales también se cuenta con regulaciones de diseño estructural, este es el *Instituto Nacional de Normalización* (INN). El cual es miembro de la *Internacional Organization for Standardization* (ISO) y de la *Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT),

En el desarrollo de este trabajo y específicamente en lo relacionado con el diseño, construcción y ensayos se consultarán textos, guías y normas tanto nacionales como internacionales.

3.2.- NORMAS Y CÓDIGOS.

En líneas generales, en nuestro país, no es muy fácil encontrar un manual o un código que nos dé pautas específicas para el diseño de ferrocemento, pero sí podemos encontrar mucho material relacionado con hormigón armado, y por supuesto al ser materiales constructivos de similares características, la mayoría de las normas son completamente aplicables.

Internacionalmente, sí existen códigos o guías para el diseño de ferrocemento y es el caso de el *"Guide for the Design, Construction and Repair of Ferrocement"* y el *"Building Code Requirements for Reinforced Concrete"* ambos del American Concrete Institute (ACI318), como también la Norma Brasileña ABNT 1259 *"Projeto e Execucao de Argamassa Armada"*. Aparte de estos también son útiles las guías de diseño publicadas por el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) y el Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" de Cuba (ISPJAE), entre otros.

En este trabajo las guías principales serán, para todo lo relacionado con el diseño, las recomendaciones que aparecen en "Código ACI318-99" y textos de origen mexicano y cubano que aparecen en la bibliografía; para todo lo que son solicitaciones se revisarán las diferentes *Normas Chilenas, NCh 1537.Of 86 "Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso", NCh 432.Of 71 "Cálculo de la Acción del Viento Sobre las Construcciones"* y la *NCh 431.Of 77 "Construcción-Sobrecargas de Nieve"*; para todo lo relacionado con la tecnología del hormigón o mortero y hormigón armado, se revisará la *NCh 170.Of 85 "Hormigón-Requisitos Generales", NCh 429.Of 57 "Hormigón Armado-Parte I"* y la *NCh 430.Of 86 "Hormigón Armado-Parte II"*; para todo lo relacionado con las mallas a utilizar, se tomarán en cuenta la *NCh 218.Of 77 "Acero – Mallas de Alta Resistencia para Hormigón Armado – Especificaciones"* y la *NCh 219.Of 77 "Construcción – Mallas de Acero de Alta Resistencia – Condiciones de Uso en el Hormigón Armado"*; y por último, para lo relacionado con el ensayo a flexotracción, se consultará la *NCh 1038. of 77 "Hormigón – Ensayo de Tracción por Flexión"*.

3.3.- CARGAS DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA.

3.3.1.- Cargas de Diseño.

Las cargas a considerar para el diseño de los elementos estructurales de cualquier edificación dependen de su función en la estructura y además de la ubicación geográfica de la obra, a continuación se describen todas las cargas para una estructura cualquiera de ingeniería:

3.3.1.1.- Carga de Viento.

El análisis para la determinación de las presiones de viento que solicitarán a una estructura se realiza utilizando los procedimientos indicados en la Norma chilena *Nch 432 of 71, " Cálculo de la Acción del Viento Sobre las Construcciones"*.

3.3.1.2.- Carga de Nieve.

Ésta corresponde a las solicitaciones producto de la acción de la nieve sobre una estructura.

Su determinación y combinación con otras cargas se basa en la *Nch 431 of 77 "Construcción – Sobrecargas de Nieve"*.

3.3.1.3.- Carga Muerta.

Consiste en el peso de toda la estructura incluyendo peso propio y sobrecarga permanente. La determinación de este valor se realiza obteniendo el volumen de cada elemento para luego multiplicarlo por su densidad.

Se utilizarán las recomendaciones que aparecen en la norma chilena *Nch 1537 of 86 "Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso"*.

3.3.1.4.- Empuje de Suelos.

El empuje de los suelos corresponde a las cargas que solicitan a los edificios producto de la acción de los suelos aledaños o de fundación. Dependen de las características del suelo y de la vida que éste haya tenido, importando de sobremanera su comportamiento frente a un sismo.

Los empujes se calculan en función de las hipótesis y fórmulas empíricas que conforman la mecánica de suelos.

3.3.1.5.- Sobrecarga de Uso o Carga Viva.

Ésta se determina en función y uso de los distintos espacios de una edificación, como el techo y piso.

Para los pisos se considera una sobrecarga mínima uniformemente distribuida "q_k" según lo indicado en la tabla 3 de *Nch 1537 of 86, "Diseño estructural de edificios- cargas permanentes y sobrecargas de uso"*. También en esta norma se muestran los valores para cada piso, como así también la influencia en cada elemento, y el aporte que ellos realizan en función del área tributaria.

3.3.1.6.- Carga Sísmica.

Ésta corresponde a la fuerza que solicita al edificio durante la ocurrencia de algún movimiento telúrico. Influyen aquí aspectos muy importantes como la masa del edificio y el tipo de suelo sobre el cual se fundará.

Se utiliza la *Nch 433 of 96, "Diseño sísmico de edificios"*. También se analizan aspectos como: la zona sísmica, el efecto del suelo de fundación, los materiales a utilizar, etc.

En el caso de la viga "T" de ferrocemento a diseñar se considerarán sólo las Cargas Muertas (D) y las Sobrecargas de Uso o Cargas Vivas (L), puesto que se considera que las cargas sísmicas y de viento las resisten lo elementos verticales, y además, las viga se considera como de entrepiso y no le afectan las cargas de nieve ni las cargas propias del diseño de un techo.

3.3.2.- Combinaciones de Carga.

En general para el estado de carga último se consideran las siguientes combinaciones o estados de carga[III]:

1.- $U = 1{,}4 * D + 1{,}7 * L$

2.- $U = 0{,}75 * (1{,}4 * D + 1{,}7 * L + 0{,}7 * W)$

$U = 0{,}75* (1{,}4 * D + 1{,}7 * L + 1{,}87 * E)$

$U = 0{,}9 * D + 1{,}43 * E$

$U = 0{,}9 * D + 1{,}3 * W$

3.- $U = 1{,}4 * D + 1{,}7 * L + 1{,}7 * H$

$U = 1{,}4 * D + 1{,}7 * L + 1{,}4 * F$

$U = 0{,}9 * D + 1{,}7 * H$

$U = 0{,}9 * D + 1{,}4 * F$

En que:

D : solicitación por peso propio.

L : solicitación por carga viva.

W : solicitación por viento.

E : solicitación por sismo.

H : solicitación por presión de tierra.

F : solicitación por presión de liquido.

3.4.- REQUISITOS DE RESISTENCIA.

Las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para cargas y fuerzas mayoradas.

La resistencia requerida U se expresa en términos de cargas mayoradas o de las fuerzas y momentos internos correspondientes. Las cargas mayoradas son las cargas específicas en la ordenanza general de construcción multiplicadas por los factores de carga apropiados. En nuestro caso la resistencia requerida, que debe resistir la carga permanente D y la sobrecarga L, debe ser por lo menos igual a[III]:

$$\mathbf{U = 1.4\ D + 1.7\ L} \qquad \text{(Ec. 3.1)}$$

La resistencia de diseño proporcionada por un elemento en términos de flexión, carga axial, corte y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones de el código o la norma, multiplicados por los factores Φ, de reducción de resistencia, para satisfacer la relación general[III]:

$$F * \mathbf{N} = \mathbf{U} \qquad \text{(Ec. 3.2)}$$

Donde:

U: mínima resistencia de diseño requerida.

N: resistencia nominal.

Φ: factor de seguridad, reductor de resistencia.

En cuanto al diseño de la armadura, el fierro utilizado no debe basarse en una tensión de fluencia de armado f_y que exceda de 560 Mpa (5600 kg_f/m^2), y las mallas de refuerzo no deben exceder los 690 Mpa (6900 kg_f/m^2), este alto límite de resistencia a la fluencia es

justificable para el ferrocemento debido al alto contenido de refuerzo, ductilidad, y muy pequeño ancho de grieta que resulta de su alta superficie específica y el poco espaciamiento entre refuerzo.

3.5.- SUPOSICIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE FERROCEMENTO A FLEXIÓN.

Para el diseño a flexión de la viga se tendrán en cuenta las siguientes suposiciones:

- Las secciones planas se mantienen planas hasta la rotura del elemento.
- Se considera al ferrocemento como un material homogéneo.
- No se contempla retracción ni creep en el mortero.
- Se considera una adherencia perfecta entre el hormigón y el acero, lo que implica que las deformaciones en el acero y el mortero en cualquier fibra tienen que ser iguales.
- Los esfuerzos internos permanecen en equilibrio.
- Es nula la contribución del mortero a tracción.
- La relación entre la distribución del esfuerzo por compresión en el mortero y su deformación será considerada satisfactoria por el uso de la distribución rectangular del esfuerzo de $0.85f'_c$ que se supondrá uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente a una distancia b_1c a partir de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión. Donde "c" se considera desde la fibra de deformación unitaria máxima al eje neutro y se medirá en dirección perpendicular a dicho eje. Y el factor "b_1"deberá tomarse como 0.85 para la resistencias del hormigón f'_c hasta 30 MPa. Para resistencias superiores a 30 MPa, b_1 disminuirá en forma lineal en 0.008 por cada MPa de aumento sobre 30 MPa, sin embargo, b_1 no debe ser menor de 0.65.
- Las deformaciones varían linealmente con la distancia desde la fibra neutra.
- La relación esfuerzo-deformación del mortero y el refuerzo son lineales para esfuerzos menores o iguales que el permitido para cargas de servicio.

- El diagrama esfuerzo-deformación del acero para el cálculo, debe escogerse del tipo de malla de acero que se disponga, especialmente para calcular los alargamientos que permiten comprobar el esfuerzo a que estarán sometidas las mallas. Como límites de fluencia se ocuparán los que aparecen en la siguiente tabla:

	Malla Cuadrada Soldada	**Malla Hexagonal**	**Barra Longitudinal**
f_y (kg/cm^2)	5000[(i)]	2000[(VIII)]	2800[(iii)]

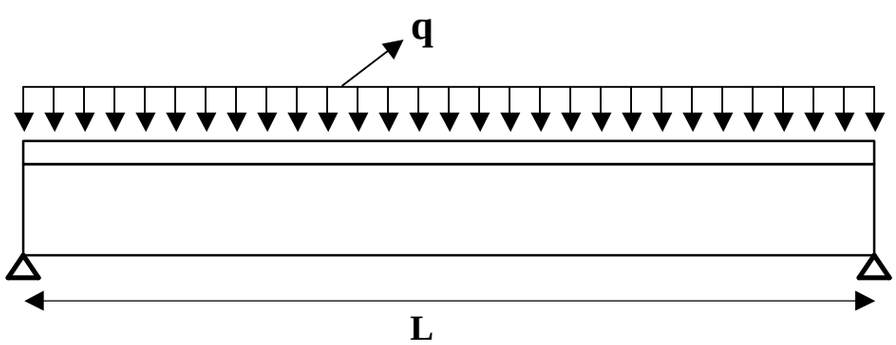
(Tabla 3.1)

3.6.- MOMENTO ÚLTIMO DE DISEÑO.

Siempre antes de diseñar cualquier elemento estructural, es necesario obtener las solicitaciones a que este está, o puede estar sometido, es por eso que a continuación se planteará la metodología para obtener el momento máximo con que posteriormente se diseñará.

Para el diseño de la viga se considerarán cargas muertas y cargas vivas. Las cargas muertas corresponden a el peso propio del elemento y a el peso de la sobrelosa a colocar sobre la viga, y las cargas vivas, corresponden a una sobrecarga estimada que va de acuerdo a el uso que se considere de la viga.

La viga a diseñar se representa de la siguiente forma:



(Figura 3.1)

Se sabe que el momento máximo de una viga simplemente apoyada con una carga distribuida sobre ella es:

$$\mathbf{M_{máx} = (q * L^2) / 8} \qquad \text{(Ec. 3.3)}$$

Y en este caso aplicando la carga distribuida última nos da un momento último de diseño “M_u”. Esto se aprecia en la (Ec. 3.4):

$$\mathbf{M_u = (q_u * L^2) / 8} \qquad \text{(Ec. 3.4)}$$

Donde:

q_u : carga distribuida total sobre la viga, multiplicada por factores de carga últimos.

L : luz de la viga.

Aplicando el concepto de la (Ec. 3.1) se sabe que la carga distribuida última total sobre la viga es de la siguiente forma:

$$\mathbf{q_u = 1.4*q_d + 1.7*q_l} \qquad \text{(Ec. 3.5)}$$

Siendo:

q_d : carga distribuida de peso muerto.

$q_l = q_{sc}$: carga distribuida "viva", en este caso es una sobrecarga obtenida en la Tabla 3 de la *NCh 1537.Of 86.*

La carga "q_d" a su vez esta compuesta por dos cargas que se explicarán a continuación.

$$\mathbf{q_d = q_{pp} + q_{sobrelosa}} \qquad \text{(Ec. 3.6)}$$

Donde:

q_{pp} : carga distribuida muerta de peso propio.

$q_{sobrelosa}$: carga distribuida muerta provocada por el peso de la sobrelosa.

A continuación se procederá a la deducción de “q_{pp}”:

$$q_{pp} = P/L = (A * \rho_H * L)/L = A * \rho_H$$

Por lo tanto:

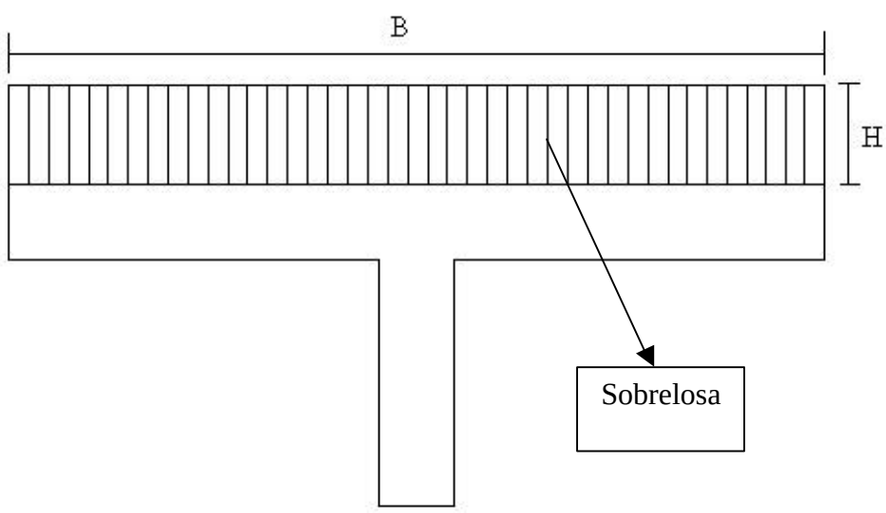
$$\mathbf{q_{pp} = A * r_H} \qquad \text{(Ec. 3.7)}$$

Donde:

A : área de la sección.

ρ_H: densidad del hormigón con refuerzo (2500 kg/m^3).

A continuación se procederá a la deducción de “$q_{sobrelosa}$” que se aprecia en la siguiente figura:



(Figura 3.2)

$$q_{sobrelosa} = A_{sobrelosa} * \rho_m = B*H*\rho_m$$

Por lo tanto:

$$\mathbf{q_{sobrelosa} = B * H *} \ r_{\mathbf{m}} \qquad \text{(Ec. 3.8)}$$

Donde:

B: ancho de la sobrelosa sobre el ala de viga “T”.

H: altura de la sobrelosa o espesor.

ρ_m: densidad de el mortero de sobrelosa (2400 kg/m^3).

El valor de “q_{sc}” sale del producto entre la sobrecarga elegida en la *NCh1537 Of. 86 “Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso” (tabla 3),* y el ancho de el ala de la viga.

Finalmente el momento último de diseño queda de la siguiente forma:

$$\mathbf{M_u = ((1.4 *(q_{pp} + q_{sobrelosa}) + 1.7 * q_{sc}) * L^2) / 8} \qquad \text{(Ec.3.9)}$$

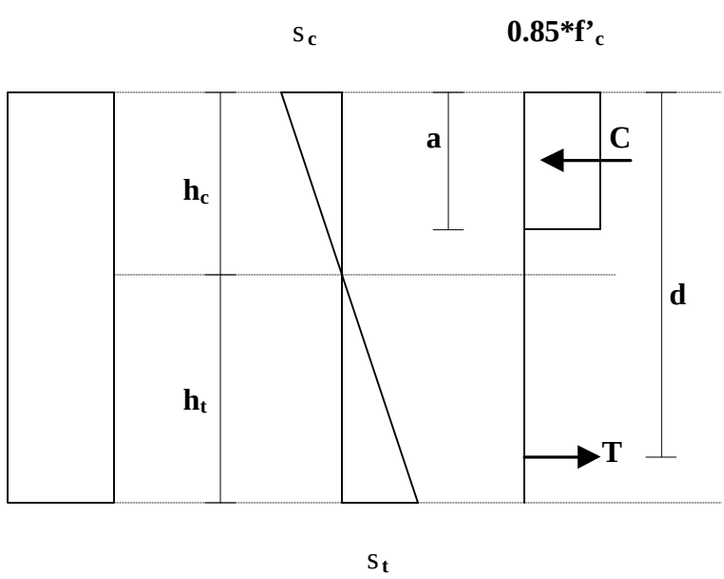
3.7.- DESARROLLO DE ECUACIONES DE DISEÑO.

Las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para las cargas y fuerzas mayoradas[III].

El diseño en general nos permite conocer ciertas variables necesarias tales como las áreas de refuerzo, dimensiones de las secciones, resistencia requerida del material a utilizar, etc. Sin embargo generalmente el dimensionamiento del elemento a diseñar o la sección, viene dado de antes de acuerdo a las características geométricas que se necesiten o mediante un "pre-diseño" del elemento. Es por esto que generalmente lo que se busca es obtener los valores del área del refuerzo a utilizar, y luego se verificar los otros requerimientos.

En la siguiente formulación para el diseño de la viga con perfil "T" de ferrocemento, se asumen las secciones de un perfil predeterminado, quedando por determinar el área del refuerzo, que en este caso corresponde a malla hexagonal, malla soldada y diámetro del acero en barra.

El procedimiento de diseño se basa en el "D*iagrama de Tensiones de una Sección Cualquiera Transversal de Ferrocemento Sometida a Cargas"*, que corresponde al que sigue[I]:



(Figura 3.3)

3.7.1.- Diseño por Resistencia a Flexión.

En este procedimiento, el margen de seguridad se proporciona multiplicando la carga de servicio por un factor de carga y la resistencia nominal por un factor de reducción. La resistencia de diseño de un elemento estructural se calcula multiplicando la resistencia nominal por un factor de reducción de resistencia "Φ" menor que uno. La resistencia nominal se calcula suponiendo que el elemento tendrá dimensiones exactas y las propiedades de los materiales utilizadas en el cálculo no varían[III].

Combinando estas disposiciones, la ecuación principal de diseño queda[III]:

$$F * \mathbf{M_n} = \mathbf{M_u} \qquad \text{(Ec. 3.10)}$$

Donde:

Φ : factor de reducción de resistencia.

M_n: momento nominal.

M_u: momento último de diseño, definido en la (Ec. 3.9).

El momento nominal se define de la siguiente forma[III]:

$$\mathbf{M_n = T * (d - a / 2)} \qquad \text{(Ec. 3.11)}$$

Donde:

T: fuerza de tracción en el refuerzo de acero sometido a la carga última.

d: distancia desde la fibra extrema de compresión a la línea de acción de la fuerza de tracción.

a: profundidad del bloque de compresiones.

Por definición la fuerza T puede obtenerse de la siguiente forma:

$$\mathbf{T} = S\ \mathbf{A_{si}\ f_{yi}} \qquad \text{(Ec. 3.12)}$$

Donde:

A_{si} : área efectiva de los diferentes elementos de refuerzo.

f_{yi} : límite de fluencia de los diferentes materiales de los elementos de refuerzo.

De la (Ec. 3.10) y (Ec. 3.11) obtenemos que:

$$F\ \mathbf{*\ T\ *\ (\ d - a\ /\ 2\ ) = M_u} \qquad \text{(Ec. 3.13)}$$

De la (Figura 3.4) se puede deducir lo siguiente:

$$\mathbf{T = C} \qquad \text{(Ec. 3.14)}$$

$$\mathbf{C = 0.85 * f'_c * b_2 * a} \qquad \text{(Ec. 3.15)}$$

Como se asume que la sección se diseña sin refuerzo de compresión. La cuantía mecánica se define de la siguiente manera[VI]:

$$r\ \mathbf{=\ (}\ S\ \mathbf{A_{si} * f_{yi}\ ) / (\ b_2 * d * f'_c\ )} \qquad \text{(Ec. 3.16)}$$

O sea:

$$r = \mathbf{T / (b_2 * d * f'_c)} \qquad \text{(Ec. 3.17)}$$

Reemplazando la (Ec. 3.14) en la (Ec. 3.17), queda:

$$r = \mathbf{C / (b_2 * d * f'_c)} \qquad \text{(Ec. 3.18)}$$

Ahora si reemplazamos la (Ec. 3.15) en la (Ec. 3.18), queda:

$$\rho = (0.85 * f'_c * b_2 * a) / (b_2 * d * f'_c) = (0.85 * a) / d$$

O sea:

$$\mathbf{a = (r * d) / 0.85} \qquad \text{(Ec. 3.19)}$$

Ahora, si reemplazamos la (Ec. 3.17) y (Ec. 3.19) en la (Ec. 3.13), podemos desarrollar lo siguiente:

$$\Phi * \rho * b_2 * d * f'_c * (d - ((\rho * d) / 0.85) / 2) = M_u$$

Desarrollando esta expresión nos queda la siguiente ecuación cuadrática para obtener la cuantía necesaria para el perfil:

$$r^2 \mathbf{- 1.7 *} r \mathbf{+ [(1.7 * M_u) / (}F \mathbf{* b_2 * d^2 * f'_c)] = 0} \qquad \text{(Ec. 3.20)}$$

Siendo Φ igual a 0.9, recomendado por el código ACI 318-99 para elementos sometidos a flexión.

Una vez obtenida la cuantía, se verifica el valor de “a” mediante la (Ec. 3.19). Si “a” es menor que el espesor del ala “h_2”, la viga trabaja como si fuera rectangular y puede continuarse con el diseño, pero si es mayor, deberá determinarse el momento (M'_u) que resiste el alma de la sección, mediante la ecuación:

$$\mathbf{M'_u = M_u - 0.85 * F * f'_c * (b_2 - b_1) * h_2 * (d - h_2 / 2)} \qquad \text{(Ec. 3.21)}$$

Donde todos los elementos que conforman la ecuación ya están definidos anteriormente.

Si fuese necesario utilizar la (Ec. 3.21), el M'_u calculado se reemplaza por el M_u en la (Ec. 3.20) y se obtiene nuevamente la cuantía final.

Siguiendo con el diseño, y para dimensionar con exactitud el refuerzo a utilizar dado por la cuantía “ρ”, se proceden a sumar las cuantías de los refuerzos dados hasta completar el total de la cuantía requerida. En este caso, y como se dijo anteriormente, se trabajará con malla hexagonal, malla soldada y acero en barras. Por lo tanto queda de la siguiente forma:

$$r = S\ r_i \qquad \text{(Ec. 3.22)}$$

O también:

$$r = r_{\textbf{barra acero}} + r_{\textbf{malla soldada}} + r_{\textbf{malla hexagonal}} \qquad \text{(Ec. 3.23)}$$

De donde las diferentes cuantías se pueden obtener a partir de la (Ec. 3.16) quedando de la siguiente forma:

$$r_{\textbf{barra de acero}} = \mathbf{(A_s * f_y)_{barras\ de\ acero} / (b_2 * d * f'_c)} \qquad \text{(Ec. 3.24)}$$

$$r_{\text{malla soldada}} = (A_s * f_y)_{\text{malla soldada}} / (b_2 * d * f'_c) \qquad \text{(Ec. 3.25)}$$

$$r_{\text{malla hexagonal}} = (A_s * f_y * \cos a)_{\text{malla hexagonal}} / (b_2 * d * f'_c) \qquad \text{(Ec. 3.26)}$$

Siendo "α" el ángulo de inclinación de los alambres de la malla hexagonal[VIII].

Una vez conocidas todas las cuantías y por consiguiente las áreas de los diferentes refuerzos, se comprueba el diseño en la ecuación principal de diseño (Ec. 3.10), que es equivalente a:

$$F * (S\, A_{si}\, f_{yi})\,(d - a/2) = M_u \qquad \text{(Ec. 3.27)}$$

Esta ecuación puede escribirse, también, de esta forma:

$$F * [(A_s * f_y)_{\text{barra acero}} + (A_s * f_y)_{\text{malla soldada}} + (A_s * f_y * \cos a)_{\text{malla hexagonal}}] * (d - a/2) = M_u$$

(Ec. 3.28)

Satisfaciéndose esta ecuación el diseño se dará por aprobado.

3.8.- DISEÑO DE VIGA "T" DE FERROCEMENTO A ENSAYAR.

3.8.1.- Momento Último de Diseño.

Previo al cálculo propiamente tal del momento último de diseño, hay que obtener el q_{pp} y $q_{sobrelosa}$. Además, se utilizará una sobrecarga igual a 300 kg/m^2, obtenida de la *NCh 1537. Of 86 "Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso", tabla 3,* en el apartado de la sobrecarga que se refiere a salas de clases con asientos móviles, que es mayor al requerido para áreas de uso común o habitacional.

Según la (Ec. 3.7) y (Ec. 3.8) los valores para el q_{pp} y para q_{sc} respectivamente son los siguientes:

$$q_{pp} = (0.0156 * 2500) \text{ kg/m}$$

$$\mathbf{q_{pp} = 39 \text{ kg/m}}$$

$$q_{sobrelosa} = (0.35 * 0.04 * 2400) \text{ kg/m}$$

$$\mathbf{q_{sobrelosa} = 33.6 \text{ kg/m} \tilde{} \ 34 \text{ kg/m}}$$

El valor de "q_{sc}" es el siguiente:

$$q_{sc} = (300 * 0.35) \text{ kg/m}$$

$$\mathbf{q_{sc} = 105 \text{ kg/m}}$$

Por lo tanto el momento último de diseño para la viga simplemente apoyada aplicando la (Ec. 3.9) queda:

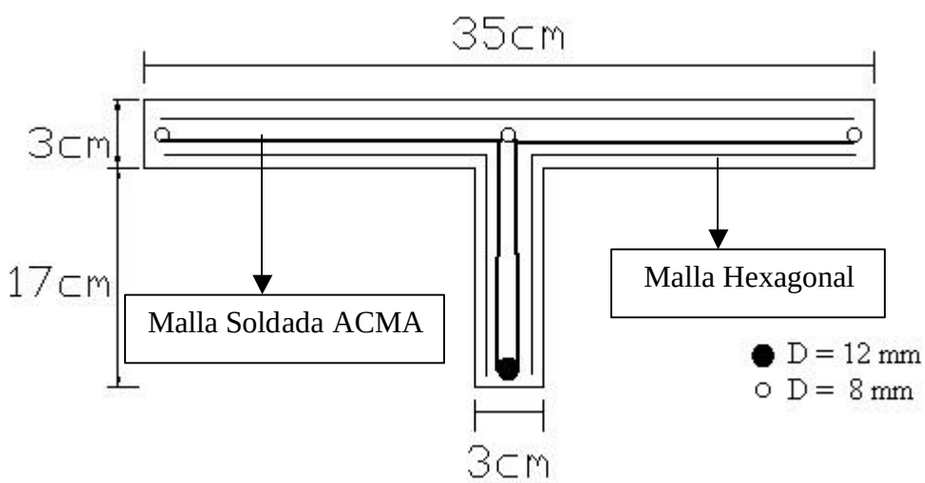
$$M_u = ((1.4 * (39 + 34) + 1.7 * 105) * 4.8^2) \ / \ 8 \quad kg*m$$

$$M_u = 808.42 \ \ kg*m \ \tilde{} \ \ 809 \ kg*m = 80900 \ kg*cm$$

$$\mathbf{M_u = 80900 \ kg*cm}$$

3.8.2.- <u>Cálculo de Cuantías y Áreas de Refuerzo.</u>

Previo a conocer la cuantía necesaria para el perfil se especificará en la siguiente figura el prediseño que se supondrá para la viga.



(Figura 3.4)

En esta figura la barra de acero de diámetro igual a 12 mm, actúa como refuerzo real del elemento, mientras que las de diámetro igual a 8 mm, actúan solo de esqueleto.

Aplicando directamente la (Ec. 3.20) y teniendo los datos que a continuación se exponen tenemos que la cuantía requerida por el perfil es la siguiente:

Con:

M_u = 80900 kg*cm

Φ = 0.9

b_2 = 35 cm

d = 17 cm

f_c' = 250 kg/cm^2

Tenemos que:

$$\rho^2 - 1.7 * \rho + [(1.7 * 80900) / (0.9 * 35 * 17^2 * 250)] = 0$$

$$\rho^2 - 1.7 * \rho + 0.0604 = 0$$

De donde se obtiene que:

r **= 0.0363**

A continuación se verificará la distancia "a" con la (Ec. 3.19) para seguir con el diseño. Si el valor de "a" es menor que el espesor del ala que de 3 cm, se sigue con el diseño, pero si es mayor se calcula el momento (M'_u) mediante la (Ec. 3.21) y se vuelve a sacar la cuantía:

$$a = (0.0363 * 17) / 0.85 \quad cm$$

a = 0.726 cm ˜ 0.73 cm

0.73 < 3

Por lo tanto no hay que calcular el momento (M'_u), pues se trabaja como si fuera rectangular, y se sigue con el diseño.

De la (Ec. 3.22) se tiene la siguiente igualdad:

$$\rho = \Sigma \rho_i$$

donde:

$$\Sigma \rho_i = \rho_{\text{barra acero}} + \rho_{\text{malla soldada}} + \rho_{\text{malla hexagonal}}$$

A continuación se procederá a calcular las diferentes cuantías que se presentan en esta ecuación, a raíz de lo estipulado en el prediseño, tratando de ajustar al máximo los valores de cada una.

- $r_{\text{barra acero}}$**:** como se dijo anteriormente, se considerará que la barra de diámetro igual a 12 mm es la que hace el esfuerzo, no así las de diámetro 8 mm. Además esta barra esta en la zona de tracción de la viga. A continuación se calculará mediante la (Ec. 3.24) la cuantía real que aporta la barra antes mencionada.

Para esto necesitamos los siguientes valores:

f_y = 2800 kg/cm^2
f'_c= 250 kg/cm^2
d = 17 cm
b_2 = 35 cm
$A_s = \pi * D^2 / 4 = \pi * 1.2^2 / 4 = 1.13$ cm^2

$$\rho_{\text{barra de acero}} = (1.13 * 2800) / (35 * 17 * 250)$$

$$r_{\textbf{barra de acero}} = \mathbf{0.0212}$$

- $r_{\textbf{malla soldada}}$**:** según el prediseño la viga tendrá malla soldada ACMA a ambos lados de las barras de acero centrales y cada una doblada para el lado de ala que le corresponde. La malla tiene una distancia entre barras de 10 cm, como se especifica en la (Tabla 2.6). Por lo tanto si se observa la parte traccionada del perfil, se aprecia que actúan solamente 4 barras de la malla, 2 a cada lado, puesto que el bloque de compresión es solamente de 0.73 cm desde arriba.

A continuación se calculará mediante la (Ec. 3.25) la cuantía real que aporta la malla soldada ACMA.

Para esto necesitamos los siguientes valores:

$f_y = 5000$ kg/cm^2
$f'_c = 250$ kg/cm^2
$d = 17$ cm
$b_2 = 35$ cm
$A_s = 4*\pi * D^2 / 4 = \pi * D^2 = \pi * 0.42^2 = 0.5$ cm^2

$$\rho_{\text{malla soldada}} = (0.5 * 5000) / (35 * 17 * 250)$$

$$r_{\textbf{malla soldada}} = \mathbf{0.0168}$$

- $r_{\textbf{malla hexagonal}}$**:** según el prediseño la viga tendrá malla hexagonal adosada a ambos lados por fuera de la malla soldada ACMA (una capa por lado). La malla hexagonal tiene una distancia de abertura 2.54 cm (1’’), como se

especifica en la (Tabla 2.1). Por lo tanto a continuación obtendremos el número de alambres que realmente actúan en la zona traccionada.

Primero obtendremos el número de alambres que actuarán por capa, esto se obtiene dividiendo la altura a tracción por el alto de la abertura del alambre:

$$(19.27 / 2.54) = 7.5 \sim 7 \text{ alambres por capa}$$

Por lo tanto como el prediseño nos indica que se pondrán 2 capas de malla hexagonal, finalmente actúan 14 alambres en la zona de tracción.

A continuación se calculará mediante la (Ec. 3.26) la cuantía real que aporta la malla hexagonal.

Para esto necesitamos los siguientes valores:

$f_y = 2000 \text{ kg/cm}^2$

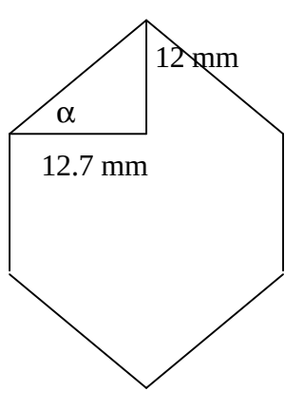
$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

$d = 17 \text{ cm}$

$b_2 = 35 \text{ cm}$

$A_s = 14 * \pi * D^2 / 4 = 14 * \pi * 0.076^2 / 4 = 0.06 \text{ cm}^2$

$\alpha = \tan^{-1} (12 / 12.7) = 43.37°$ (ver Figura 3.7)



(Figura 3.5)

$$\rho_{\text{malla hexagonal}} = (0.06 * 2000 * \cos 43.37°) / (35 * 17 * 250)$$

$$\mathbf{r_{\text{malla hexagonal}} = 0.0005}$$

Como ya tenemos todas las cuantías de los diferentes refuerzos procedemos a verificar la (Ec. 3.22), pero antes hay que obtener la $\Sigma \rho_i$:

$$\Sigma \rho_i = \rho_{\text{barra acero}} + \rho_{\text{malla soldada}} + \rho_{\text{malla hexagonal}}$$

$$\Sigma \rho_i = 0.0212 + 0.0168 + 0.0005$$

$$S\ r_{\mathbf{i}} = \mathbf{0.0385}$$

Recordemos que el valor del ρ necesario para el perfil fue de 0.025, por lo tanto:

$$\rho = \Sigma \rho_i$$

$$\mathbf{0.0363 = 0.0385}$$

Con esto se demostró que la cuantía del refuerzo supera al requerido por el elemento, por lo tanto cumple.

Finalmente para que el diseño se de por aprobado se debe satisfacer la (Ec. 3.28) que es la ecuación general de diseño.

$$\Phi * [(A_s * f_y)_{\text{barra acero}} + (A_s * f_y)_{\text{malla soldada}} + (A_s * f_y * \cos\alpha)_{\text{malla hexagonal}}] * (d - a/2) = M_u$$

De la cual conocemos todos los valores requeridos:

$\Phi = 0.9$

d = 17 cm

a = 0.73 cm

$(A_s * f_y)_{barra\ acero} = (1.1 * 2800)$ kg = 3080 kg

$(A_s * f_y)_{malla\ soldada} = (0.5 * 5000)$ kg = 2500 kg

$(A_s * f_y * \cos\alpha)_{malla\ hexagonal} = (0.06 * 2000 * \cos 43.37°)$ kg = 87.2 kg

$M_u = 80900$ kg*cm

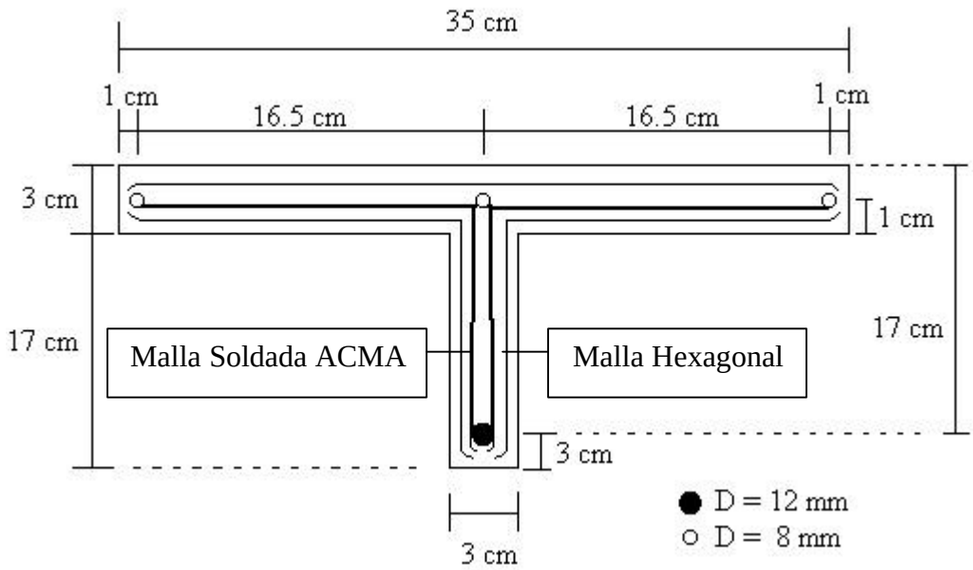
Por lo tanto:

$$0.9 * [3080 + 2500 + 87.2] * (17 – 0.73 / 2) \text{ kg*cm} = 80900 \text{ kg*cm}$$

84846 kg*cm = 80900 kg*cm

POR LO TANTO EL DISEÑO SE DA POR APROBADO, PUES LA ECUACIÓN SATISFACE LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA.

3.8.3.- <u>Dibujo Final de la Viga Diseñada.</u>

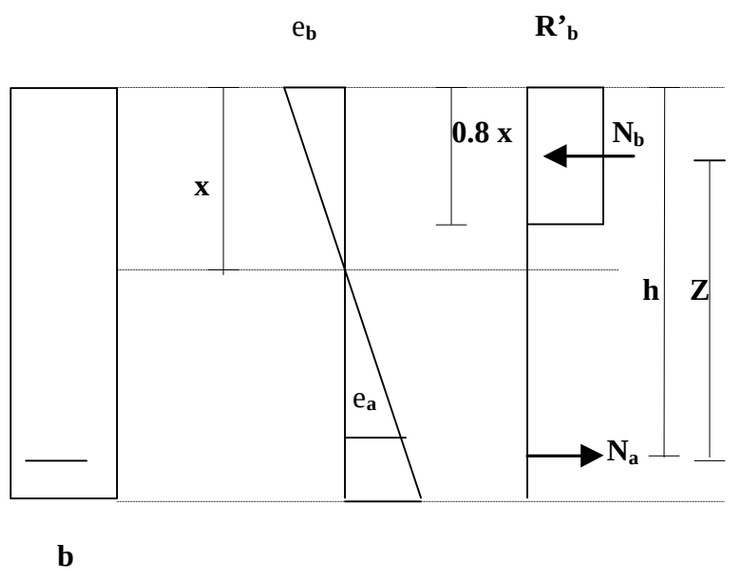


3.9.- DISEÑO ALTERNATIVO.

A continuación se presenta un diseño alternativo propuesto en el texto "Ferrocemento – Diseño y Construcción"[IV]. Este diseño es sólo para vigas con perfil rectangular por lo tanto se puede aplicar para vigas "T" solamente cuando el valor de "a", que es la profundidad del bloque en compresión, sea menor que el espesor del ala del perfil, pues así se puede considerar para efectos de diseño como una viga con perfil rectangular.

En nuestro caso lo expuesto anteriormente se cumple satisfactoriamente pues en el punto 3.9.3 de este capítulo se obtuvo un valor de "a" igual a 0.73 cm, que es menor que el espesor del ala que es de 3 cm.

El procedimiento de diseño se basa en el siguiente diagrama de tensiones:



(Figura 3.6)

De la ecuación de equilibrio de fuerzas y considerando x = kh se obtiene:

$$N_a = N_b$$

ó

$$A_a R'_a = 0.8 R'_b b k h \qquad \text{(Ec. 3.29)}$$

Donde:

A_a : área de acero en tracción.

R'_a : fluencia del acero.

R'_b : resistencia de cálculo a compresión del mortero.

De la ecuación de equilibrio de momentos se tiene:

$$M_u = N_a Z$$

$$M_u = A_a R'_a h (1 - 0.4 h) \qquad \text{(Ec. 3.30)}$$

Y de (Ec. 3.29) y (Ec. 3.30) se obtiene:

$$M_u = 0.8 R'_b b h^2 k (1 - 0.4 k) \qquad \text{(Ec. 3.31)}$$

Esta ecuación permite, conociendo el momento máximo a soportar por la sección (M_u), obtener “k” y con esta el área de acero necesaria por la (Ec. 3.29).

A continuación se procederá a diseñar la viga mediante la formulación antes descrita.

Como ya se tiene el momento último de diseño, por cálculos anteriores, aplicaremos directamente la (Ec. 3.31) y obtendremos “k”:

$$80900 = 0.8 * 250 * 35 * 17^2 * k (1 – 0.4 k)$$

De donde se obtiene la siguiente ecuación cuadrática:

$$0.4 k^2 – k + 0.0399 = 0$$

De donde resulta: k = 0.04.

Teniendo “k” y reemplazando en la (Ec. 3.29) se puede obtener el área “A_a”, que es la necesaria para el acero requerido.

$$A_a = (0.8 * 250 * 35 * 17 * 0.04) / 2800$$

$$\mathbf{A_a = 1.7\ cm^2}$$

Con el área ya obtenida, se deben proceder a ajustar las áreas de los diferentes refuerzos hasta que la suma total de los refuerzos en tracción iguale o supere a el área “A_a” obtenida.

CAPÍTULO IV

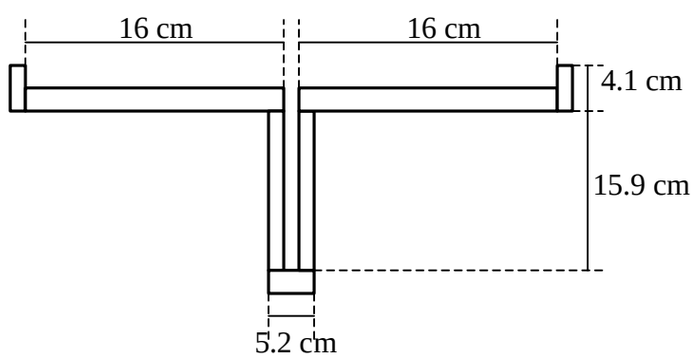
FABRICACIÓN DE VIGA CON PERFIL “T” DE FERROCEMENTO

En este capítulo se describirán a grandes rasgos la fabricación de las tres vigas a ensayar. En este proceso se pueden diferenciar cuatro etapas importantes y la vez cronológicas para el resultado final de la viga. Estas etapas son: la fabricación del moldaje, fabricación de la armadura, el vaciado del mortero, y finalmente, el desmolde.

A continuación se describirán e ilustrarán mediante fotografías las cuatro partes antes mencionadas.

4.1.- FABRICACIÓN DEL MOLDAJE.

Previo a la fabricación del moldaje se ilustraron mediante un dibujo a escala las diferentes piezas componentes de los moldajes, con el fin de dimensionar y cubicar correctamente los materiales a utilizar. La disposición y dimensión de las diferentes piezas del moldaje se aprecia en la (Figura 4.1)

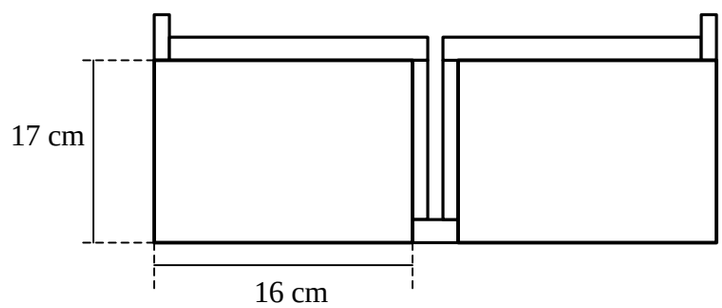


(Figura 4.1)

Luego se procedió a dimensionar en las planchas (terciado de 11 mm) los cortes a hacer. Una vez cortadas las piezas se unieron mediante tornillos de 1 ¼” dispuestos cada 20 cm.

Es importante señalar que una vez ensambladas las piezas se procedió a recubrir completamente la superficie que estará en contacto con el mortero, con huincha de embalaje, quedando la superficie como si estuviese plastificada, para así evitar que la madera pudiera absorber agua del mortero, cambiando así sus propiedades. Además, para evitar la posibilidad de que escurra líquido entre las juntas en las esquinas de la unión entre dos tablas.

Una vez listo el moldaje se le procederá a colocar tablas en forma perpendicular debajo del ala a cada lado con el fin de evitar que la viga se vuelque al colocarle la armadura o al vaciar el mortero. Esto se puede apreciar mediante la (Figura 4.2).

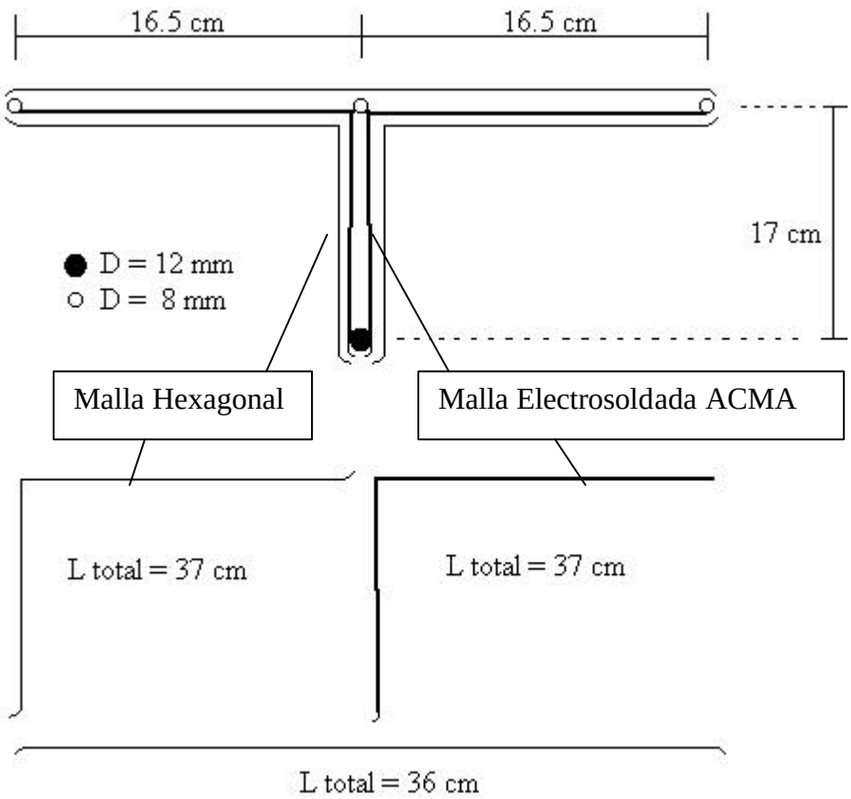


(Figura 4.2)

Y finalmente se procedió a colocar una tapa en cada extremo de la viga como se verá en las ilustraciones posteriores.

4.2.- FABRICACIÓN DE LA ARMADURA.

Una vez que la armadura se diseñó (Capítulo III), se dimensionó con el propósito de hacer cortes exactos a la hora de ir armando la armadura que finalmente se depositará dentro del moldaje. Estas medidas son las que a continuación se muestran en la (Figura 4.3).



(Figura 4.3)

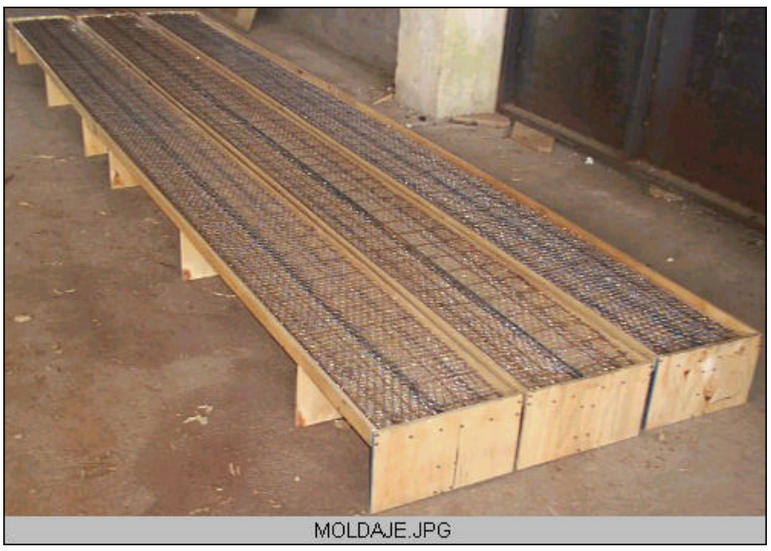
Antes de comenzar a armar o ensamblar la armadura se cortaron todas las piezas componentes de esta, vale decir, el fierro, la malla hexagonal y finalmente la malla soldada ACMA, para luego doblar esta última en forma de “L” como se indicó en la (Figura 4.3).

Se intentará que las mallas tengan dobleces en sus terminaciones (aprox. de 2 cm), además, serán amarradas a los fierros de diámetro 8 mm y 12 mm con alambre negro #18, con el fin de compactar y de darle más firmeza a la armadura para que actúe como un solo cuerpo. La malla hexagonal envuelve todo el conjunto y debe ir bien estirada.

A continuación en la (Fotografía 4.1) se aprecia la armadura construida.

(Fotografía 4.1)

En la (Fotografía 4.2) se observan las tres vigas con el moldaje dentro de la armadura.



(Fotografía 4.2)

4.3.- VACIADO DEL MORTERO.

Una vez acordado el día y la hora de descarga del mortero con la empresa hormigonera, se le hicieron los últimos ajustes a las vigas para que sea depositado el mortero en forma correcta y cerca de donde serán ensayadas para no tener que moverlas tanto a la hora de hacer el ensayo, con esto, se evita el riesgo de que puedan sufrir algún daño.

Antes de que llegara el camión Mixer que trae la mezcla, se debieron tener los materiales o herramientas adecuadas para depositar de buena forma el mortero dentro de los moldajes, vale decir, carretillas, palas, vibradores de inmersión, platachos, etc.

El procedimiento de vaciado comienza descargando el mortero del mixer depositándolo en la carretillas, posterior a eso, se llevó en estas hasta el lugar en que se encontraban las vigas y se empezó a vaciar con las palas en el moldaje. Es importante decir que la mezcla se fue depositando por capas, y como el vibrador no entra en el moldaje, bastó con colocarlo por encima tocando la armadura y a la vez dando algunos golpes en la parte exterior del moldaje para que tenga un buen vibrado y el mortero escurra en todo su interior, puesto que el mortero diseñó muy fluido con un cono aproximado de 20 cm.

Una vez terminado el proceso de vaciado se afinó un poco la superficie libre con espátulas y platachos adecuadas para esto, para finalmente cubrir las tres vigas con polietileno a modo de protegerlo un poco del ambiente para obtener un mejor fraguado y curado.

(Fotografía 4.3)

4.4.- DESMOLDE

El desmolde se realizó transcurridos 2 días del vaciado del hormigón a los moldajes. Como todas las uniones de los moldajes se hicieron con tornillos, el desmolde se realizó con más facilidad y rapidez, evitando así algún tipo daño a la viga.

Una vez retirados los moldajes, las vigas continuaron su proceso de endurecimiento hasta completar los días indicados para que estén en condiciones aptas para el ensayo. Las vigas fueron mojadas a diario para favorecer su proceso.

Finalmente las vigas quedaron de esta forma.

(Fotografía 4.4)

CAPÍTULO V

ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN A APLICAR Y PREDICCIÓN DE LA CARGA QUE VA SOPORTAR LA VIGA

5.1.- INTRODUCCIÓN.

A continuación se definirá y se darán características del ensayo a aplicar en la viga con perfil "T" de ferrocemento diseñada en el CAPÍTULO III, además se darán pormenores de los elementos a utilizar en el *Ensayo de Flexotracción* a realizar en el "Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, L.E.M.C.O.".

Cabe destacar que en el procedimiento a realizar para la ejecución del ensayo se tendrán en cuenta las disposiciones que aparecen en la *NCh 1038.Of 77 "Hormigón-Ensayo de Tracción por Flexión"*.

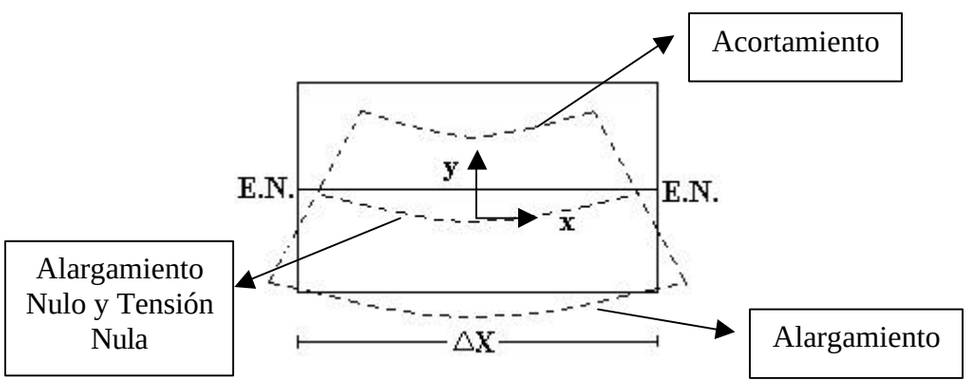
En este capítulo también se predecirá la carga "P" mínima que se supone resistirán las vigas en el *Ensayo a Flexotracción*. Se ensayarán tres vigas iguales fabricadas como se especificó en el CAPÍTULO IV, y se recopilarán los datos de cada una de las vigas ensayadas, poniendo énfasis en la deformación que experimenten y sobre todo en la carga "P" máxima que resista cada una, para luego compararla con la teórica, en el recuento de resultados que se efectuará posteriormente.

5.2.- GENERALIDADES DEL ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN.

5.2.1.- Definición del Ensayo.

El *Ensayo a Flexotracción* a aplicar sobre las tres vigas a construir consiste en aplicar dos cargas puntuales en los extremos del tercio central. Esto provoca que en ese tercio central el momento sea constante y el máximo que reciba la viga y además, ahí, el corte es nulo, fenómeno que se conoce como *Flexión Pura*.

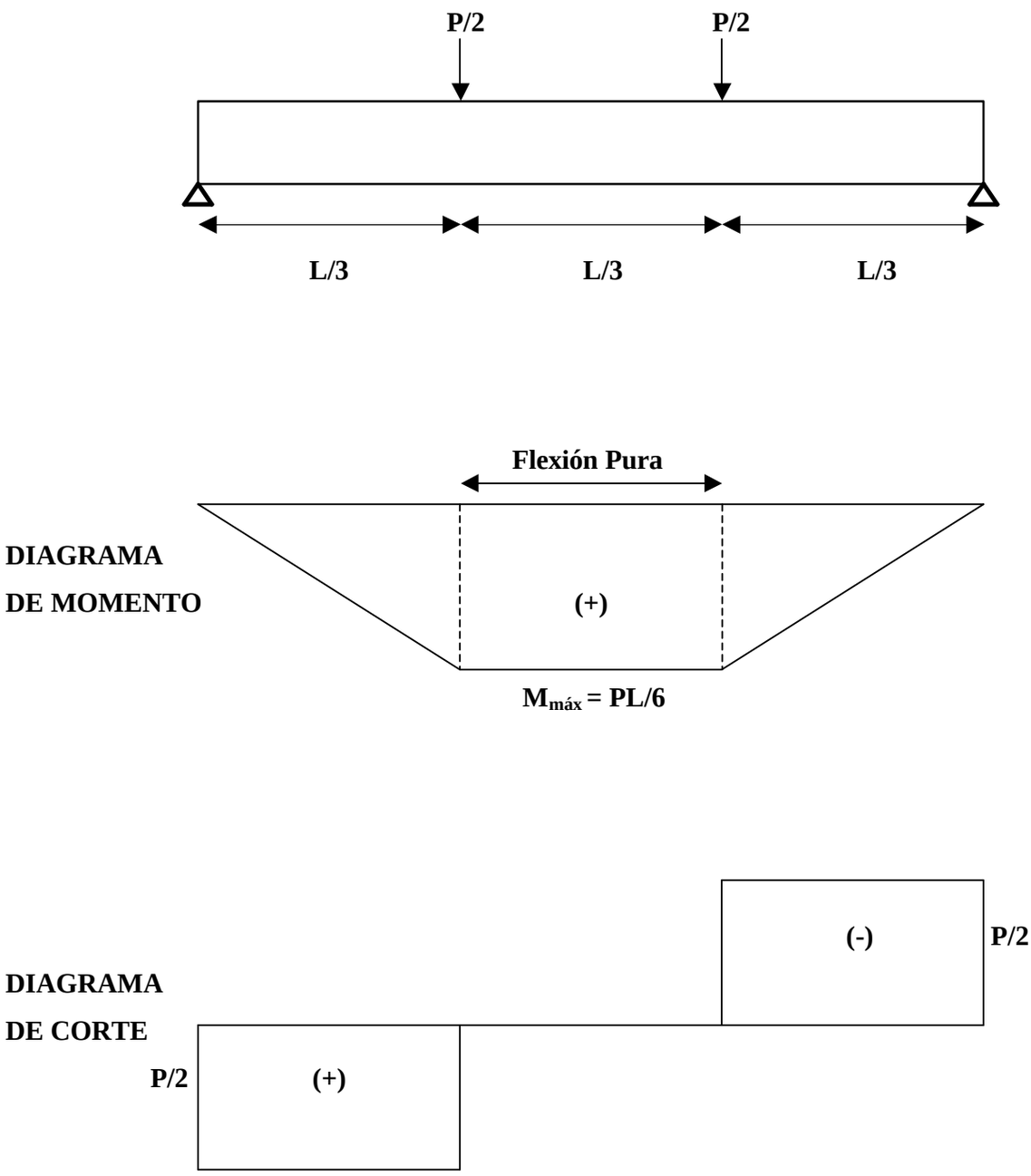
Las cargas aplicadas tendrán un valor de *P/2*, y provocan que la fibra superior de la viga , analizada diferencialmente, experimente un acortamiento, mientras que la inferior experimente un alargamiento, siendo la fibra de el eje neutro la que no altere su dimensión, por lo que en esta fibra la tensión es nula. Esto se puede apreciar en la (Figura 5.1).



(Figura 5.1)

5.2.2.- <u>Diagrama de Momento y Corte.</u>

A continuación en la (Figura 5.2) se presentan los diagramas de Momento y Corte de la Viga de largo “L” en la que se le aplican dos cargas en los extremos del tercio central de valor “P/2”.



(Figura 5.2)

5.3.- EQUIPO Y MATERIALES A UTILIZAR.

Para realizar en forma óptima el *Ensayo de Flexotracción* se necesitan diferentes elementos los que se deben aplicar en forma adecuada para tener éxito en el ensayo.

Los equipos y materiales a utilizar se pueden dividir en tres grupos principales que se nombran a continuación:

- *La Estructura de Carga*: dentro de este grupo los más importantes son el Pistón Hidráulico, el cual puede ejercer cargas hasta de 20 toneladas; La Barra de Carga, la cual posee un peso de 100 kg; Listones de Aplicación de Carga, éstos se aplican en los extremos del tercio central; y por último, Los Apoyos, los cuales se colocarán en los extremos de la viga y evitan que esta se corra o vuelque.

- *El Compresor*: aquí se distinguen tres elementos, el primero es la Palanca de Compresión y Descompresión, la cual nos sirve para aumentar o quitar carga en el pistón; Regulador de Velocidad de Carga, este controla el paso del flujo de aceite hidráulico en el interior del compresor; y por último, el Switch de Encendido del Compresor.

- *Medidor de Carga*: es electrónico y funciona a través de un censor de carga conectado al pistón.

5.4.- PREDICCIÓN DE LA CARGA "P" QUE VA A SOPORTAR LA VIGA.

Para verificar realmente si el diseño de la viga "T" de ferrocemento responde en forma adecuada a la resistencia requerida, se procederá a "predecir" numéricamente el valor estimado de carga "P" que soportará la viga.

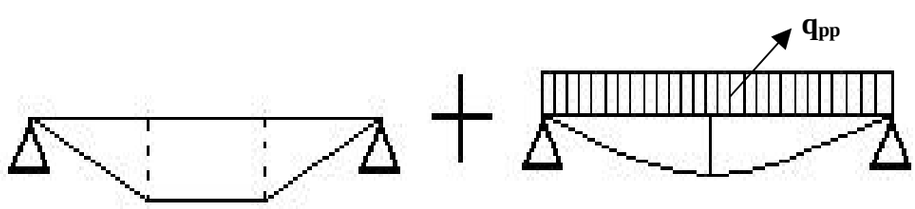
Para este propósito se procederá a igualar el momento último de diseño "M_u" con el momento producido en el instante del ensayo. Lo que es igual a igualar el momento obtenido en el cálculo del momento último de diseño considerando mayoradas las cargas muertas "D" y sobrecargas o cargas vivas "L" (Caso 1), con momento en el ensayo que involucra el peso propio más las cargas puntuales de valor P/2 aplicadas en los extremos del tercio central (Caso 2).

A continuación se presentarán ambos casos:

Caso 1: este caso fue estudiado en el Capítulo III, en el punto 3.9.2, y corresponde al momento último de diseño. El valor de este es:

$$\mathbf{M_1 = M_u = 80900\ kg*cm}$$

Caso 2: este caso será estudiado a continuación. El momento total en el ensayo corresponde a la suma del momento proporcionado por las cargas puntuales, más, el que nos entrega el peso propio de la viga. Esto se ilustra en la siguiente figura.



$\mathbf{M_{máx} = P\ L / 6}$ $\mathbf{M_{máx} = q_{pp}\ L^2 / 8}$

(Figura 5.3)

Donde:

$L = 4.8$ m

$q_{pp} =$ 39 kg/m, según lo calculado en el Capítulo III, punto 3.9.2.

Por lo tanto el Caso 2 queda:

$M_2 = P L / 6 + q_{pp} L^2 / 8$

$\mathbf{M_2 = 0.8 P + 112.32}$

Finalmente igualando los momentos del **Caso 1** y **Caso 2** nos queda:

$$M_1 = M_2$$

$$809 \text{ kg*m} = (0.8 * P + 112.32) \text{ kg*m}$$

Despejando, “P” no da:

$$P = 870.9 \text{ kg} \tilde{} \ 871 \text{ kg}$$

Por lo tanto la viga diseñada debe soportar una carga “P” mayor o igual a la siguiente:

$$\mathbf{P = 871 \text{ kg}}$$

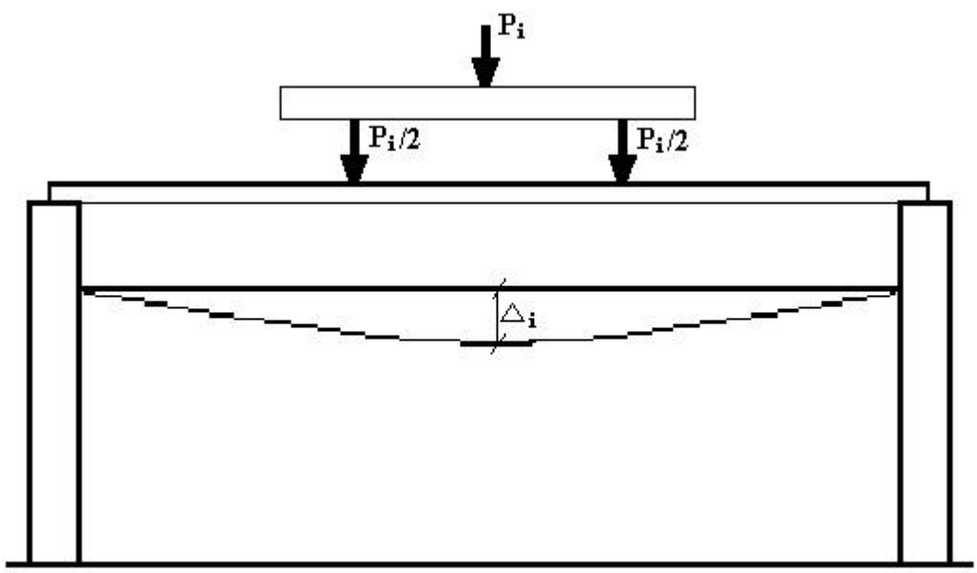
CAPÍTULO VI

RESULTADOS DEL ENSAYO.

6.1.- INTRODUCCIÓN.

Del ensayo a flexotracción realizado a las vigas de perfil “T” de ferrocemento se hizo una tabla y un gráfico para cada viga, considerando la deformación máxima que cada una tenga, en relación a la carga que reciba. Obviamente el punto en que se produce la deformación máxima de la viga es en el punto central de esta, o sea en L/2.

Las medidas que se tomarán y las tablas que se formularán para los gráficos se harán de acuerdo a la (Figura i) y a la (Tabla i), que se presenta a continuación.



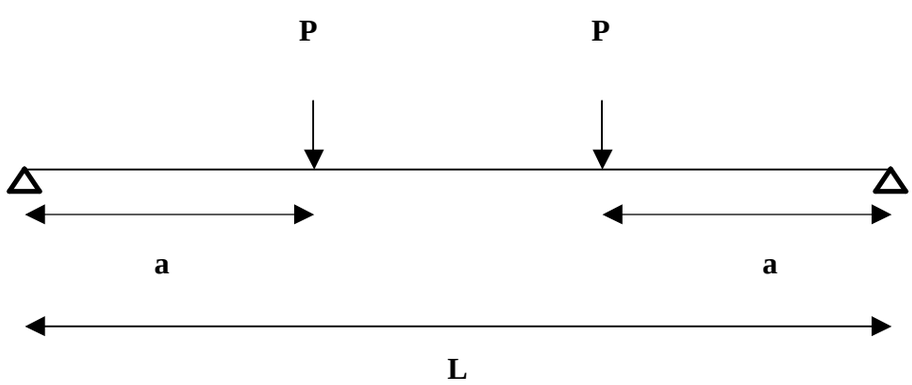
(Figura 6.1)

P	D_i
P_0	Δ_0
P_1	Δ_1
P_2	Δ_2
P_3	Δ_3
P_i	Δ_i

(Tabla 6.1)

También se verificará si cada viga cumple con la resistencia teórica calculada para el ensayo en el *capítulo V (punto 5.4)*, en donde se dedujo que cada viga debe soportar como mínimo una carga **P = 871 kg**.

Una vez recopilados todos los datos del ensayo se procederá a deducir el Módulo de Elasticidad o Módulo de Young del material. Esto se realizará a partir de la siguiente formulación y considerando el siguiente dibujo esquemático:



(Figura 6.2)

Donde la deformación máxima producida en el punto medio viene dada por:

$$D_{máx} = P * a * (3 L^2 - 4 a^2) / (24 E I) \quad [cm]$$

Donde:

E : Módulo de Elasticidad o Módulo de Young.

I : Inercia de la sección calculada en el Capítulo 3, igual a 4739.7 cm^4.

L : 480 cm.

a : L / 3

P : Carga efectuada.

$\Delta_{máx}$: Deformación en el centro de la viga.

Por lo tanto reemplazando todos los valores y despejando el Módulo de Elasticidad, nos queda la siguiente expresión:

$$\mathbf{E = 828.182\ P\ /\ D\quad [kg/cm^2]}$$

Como los valores de "P" y de "Δ" los conocemos a partir de los ensayos, podemos entonces incluir el valor de "E" en las tablas y obtener, así, una tendencia del valor del módulo de elasticidad de cada viga y posteriormente obtener un promedio final con estos resultados.

También se verificarán las *deformaciones de trabajo* "Δ_t" que se refiere a la deformación en el instante en que obtiene la carga "P" mínima a soportar por la viga, en este caso como se dijo anteriormente es de 871 kg, esta deformación de trabajo debe ser menor o igual a *L/240*, que es la deformación admisible que se aplica a pisos de hormigón armado.

$$\Delta_t = \mathbf{L / 240 = 480 / 240 = 2\ cm}$$

En la siguiente figura se aprecia el escenario en que se realizaron los ensayos.

(Fotografía 6.1)

A continuación se entregarán los resultados obtenidos en los ensayos hechos a cada una de las vigas con perfil “T” de *ferrocemento*, con las curvas correspondientes y obtendrá el módulo de elasticidad en cada viga.

6.2.- TABLAS Y GRÁFICOS

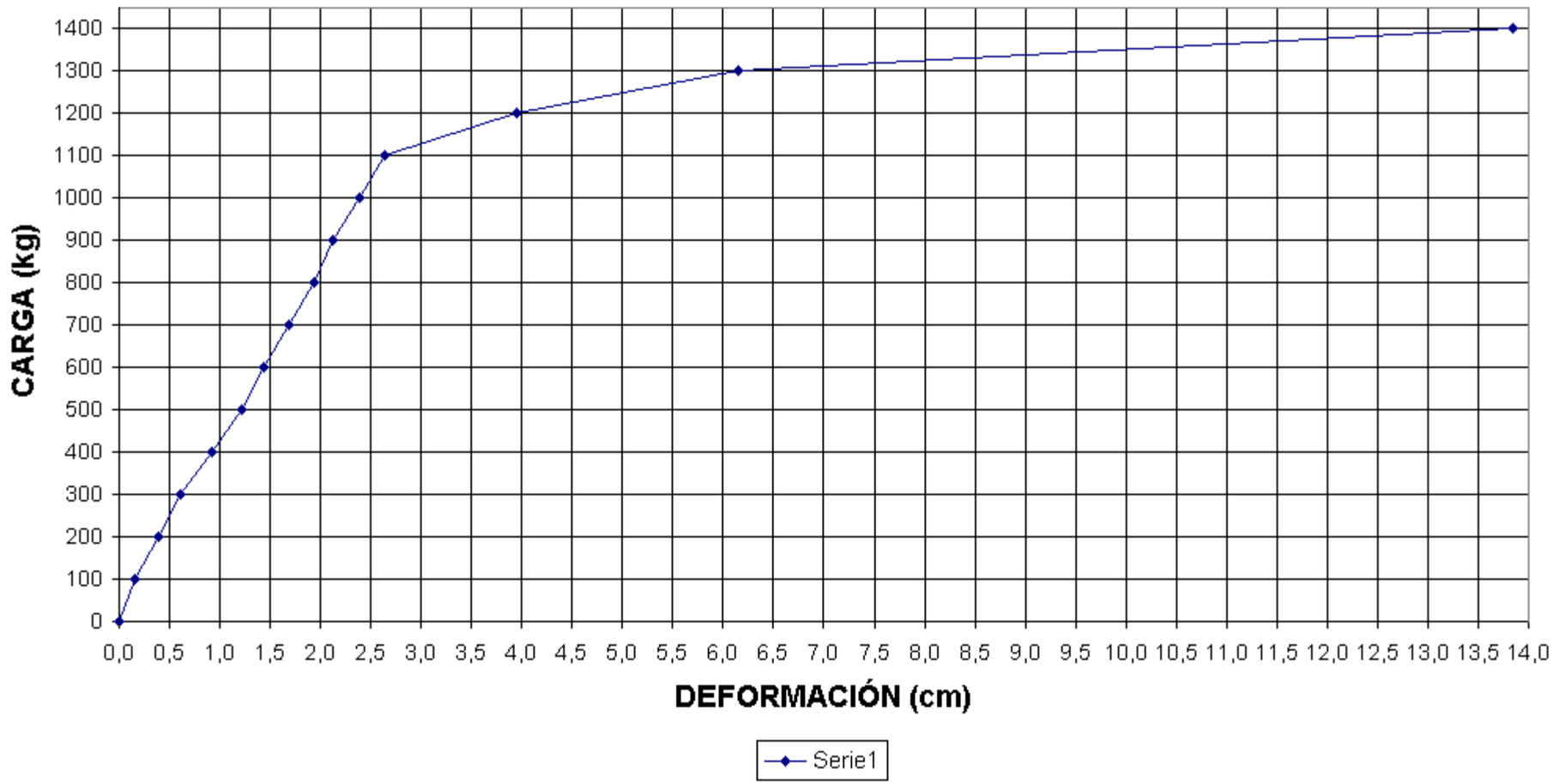
A.- <u>RESULTADOS DE VIGA 1</u>

De acuerdo a las mediciones realizadas en el ensayo a flexotracción en la viga 1, la tabla a graficar queda así:

	P (kg)	D_i (pulg*0.1)	D_i (mm)	D_i (cm)	E (kg/cm2)
	0	0,000	0,000	**0,000**	----
	100	0,610	1,549	**0,155**	534517,76
	200	1,520	3,861	**0,386**	429020,83
	300	2,420	6,147	**0,615**	404201,44
	400	3,630	9,220	**0,922**	359290,17
	500	4,770	12,116	**1,212**	341777,60
	600	5,680	14,427	**1,443**	344425,17
	700	6,630	16,840	**1,684**	344252,01
	800	7,590	19,279	**1,928**	343668,86
	900	8,360	21,234	**2,123**	351017,04
1° grietas	**1000**	9,430	23,952	**2,395**	345764,40
	1100	10,410	26,441	**2,644**	344535,46
	1200	15,530	39,446	**3,945**	251942,69
	1300	24,190	61,443	**6,144**	175226,37
	1400	54,500	138,430	**13,843**	83757,46

E aprox = 331741 kg/cm2

CARGA vs DEFORMACIÓN " VIGA 1 "



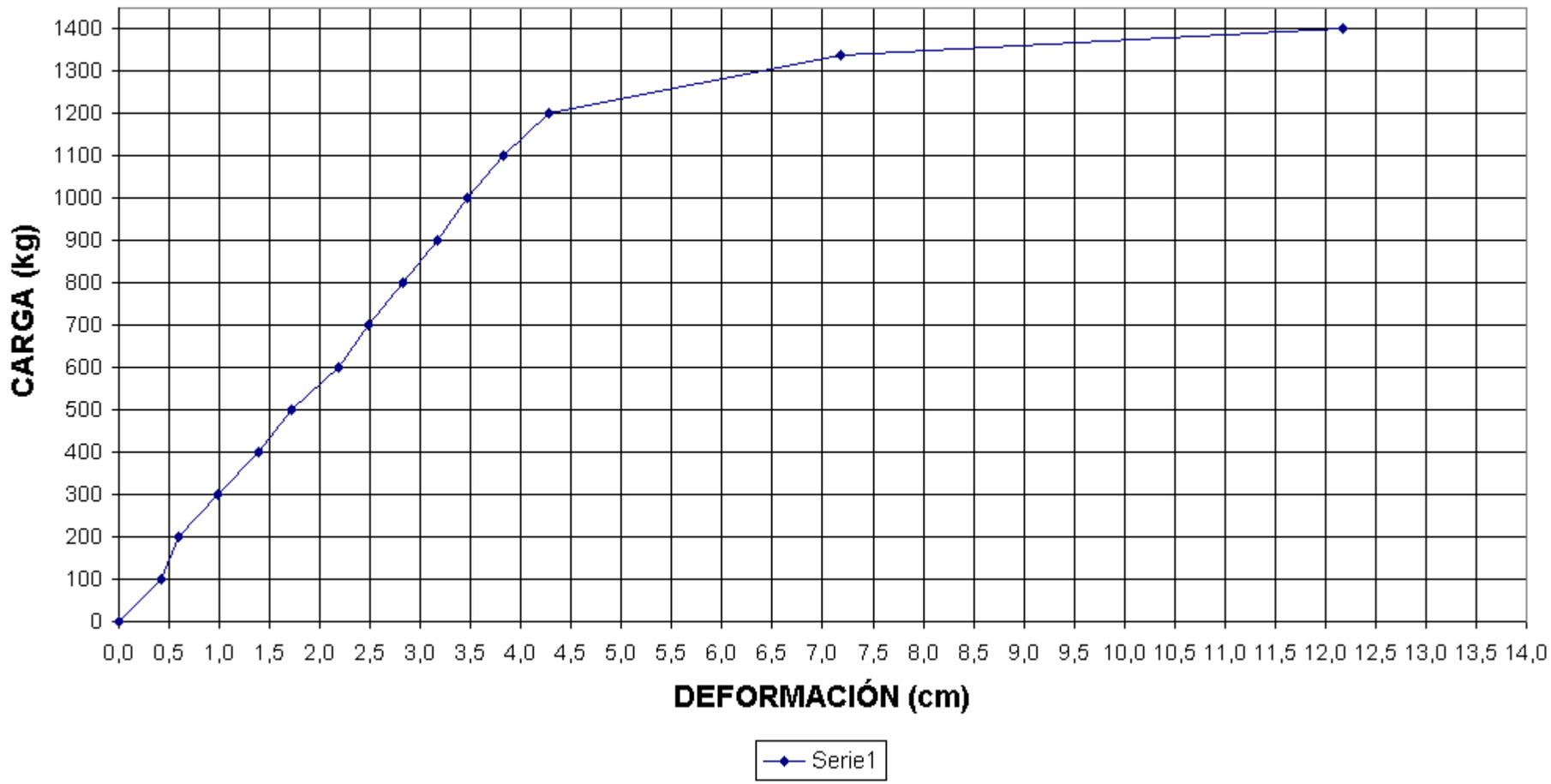
B.- <u>RESULTADOS DE VIGA 2</u>

De acuerdo a las mediciones realizadas en el ensayo a flexotracción en la viga 2, la tabla a graficar queda así:

	P (kg)	Di (pulg*0.1)	Di (mm)	Di (cm)	E (kg/cm2)
	0	0,000	0,000	**0,000**	----
	100	1,640	4,166	**0,417**	198814,53
	200	2,320	5,893	**0,589**	281082,61
	300	3,860	9,804	**0,980**	253411,27
	400	5,490	13,945	**1,394**	237563,45
	500	6,740	17,120	**1,712**	241881,18
	600	8,620	21,895	**2,189**	226953,01
	700	9,800	24,892	**2,489**	232897,02
	800	11,100	28,194	**2,819**	234995,19
	900	12,450	31,623	**3,162**	235703,01
1° grietas	**1000**	13,660	34,696	**3,470**	238693,87
	1100	15,060	38,252	**3,825**	238154,99
	1200	16,840	42,774	**4,277**	232343,82
	1340	28,257	71,774	**7,177**	154619,17
	1400	47,942	121,774	**12,177**	95213,64

E aprox = 232575 kg/cm2

CARGA vs DEFORMACIÓN " VIGA 2 "



C.- <u>RESULTADOS DE VIGA 3</u>

De acuerdo a las mediciones realizadas en el ensayo a flexotracción en la viga 3, la tabla a graficar queda así:

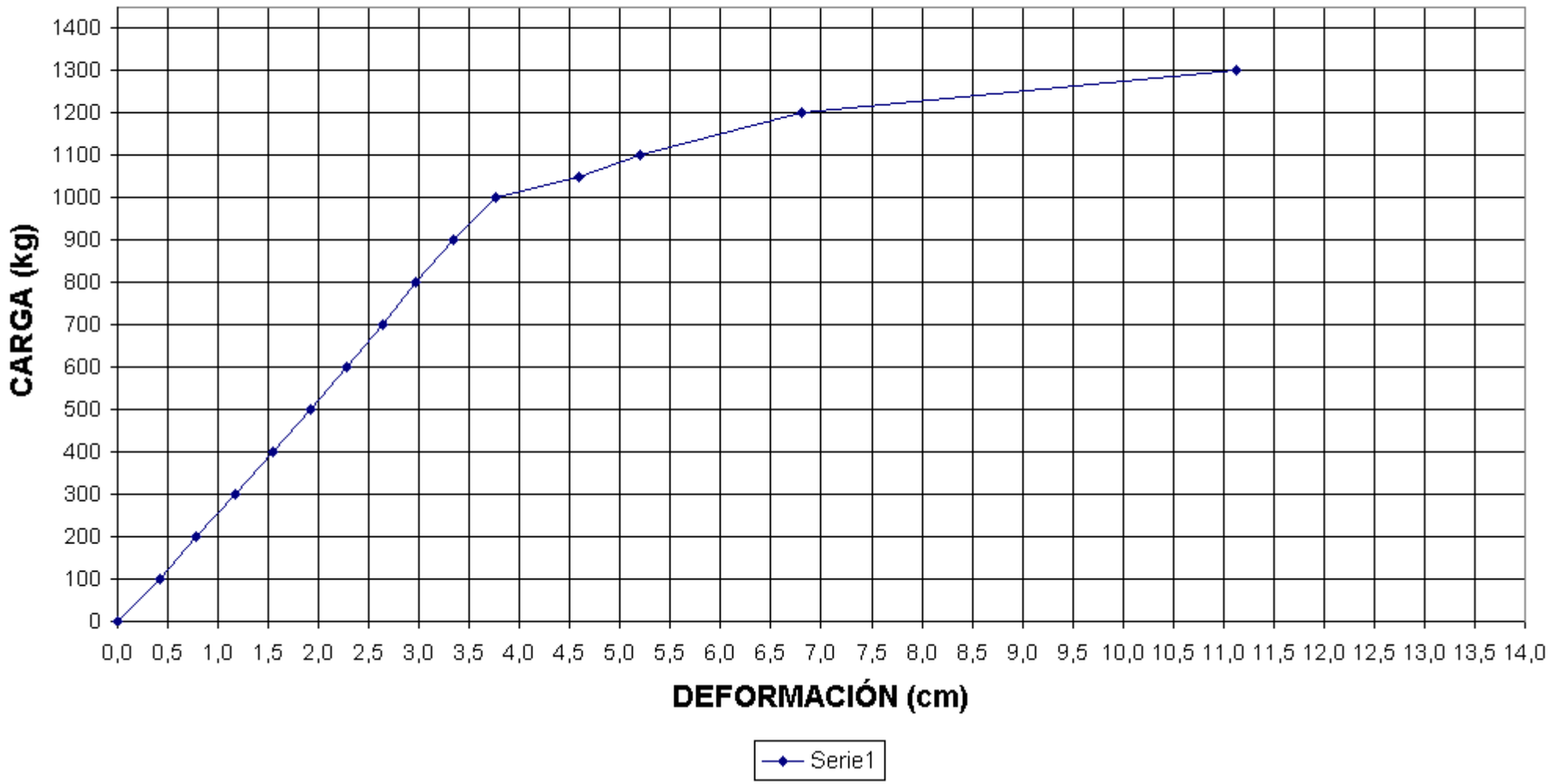
	P (kg)	D_i (pulg*0.001)	D_i (mm)	D_i (cm)	D_i^* (cm)	E (kg/cm2)
	0	0,000	0,000	0,000	**0,000**	----
	100	0,450	1,143	0,114	**0,414**	199899,06
	200	1,900	4,826	0,483	**0,783**	211648,81
	300	3,430	8,712	0,871	**1,171**	212133,11
	400	4,900	12,446	1,245	**1,545**	214471,53
	500	6,360	16,154	1,615	**1,915**	216185,79
	600	7,800	19,812	1,981	**2,281**	217827,94
	700	9,200	23,368	2,337	**2,637**	219860,16
	800	10,470	26,594	2,659	**2,959**	223879,82
	900	11,970	30,404	3,040	**3,340**	223137,38
1° grieta	**1000**	13,600	34,544	3,454	**3,754**	220589,66
	1050	16,900	42,926	4,293	**4,593**	189346,10
	1100	19,260	48,920	4,892	**5,192**	175460,90
	1200	25,620	65,075	6,507	**6,807**	145989,14
	1300	42,652	108,336	10,834	**11,134**	96701,48

Δ_i^* : correción del gráfico

$\Delta_i^* = D_i$ **+ 0.3 (cm)**

E aprox = 211510 kg/cm2

CARGA vs DEFORMACION " VIGA 3 "



6.3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En las tres vigas se cumplió satisfactoriamente la resistencia mínima calculada en el Capítulo V, punto 5.4, en que la carga "P" soportada por las vigas debía ser mayor a 871 kg. Además al alcanzarse esta carga la viga no presentó ninguna grieta ni fisura.

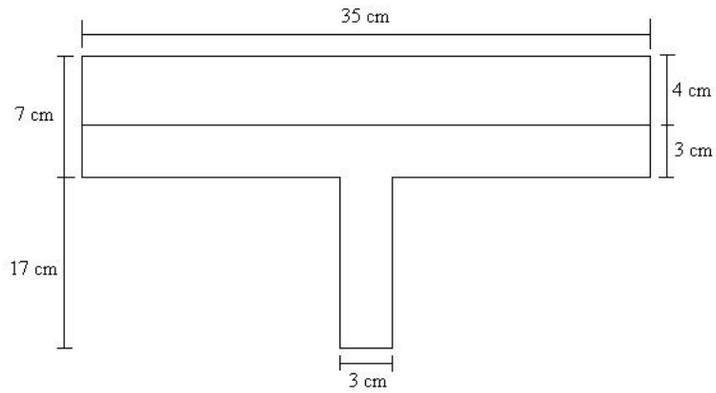
2. El promedio de los tres Módulos de Elasticidad o de Young "E" obtenidos en cada ensayo es de 258609 kg/cm^2, una cifra bastante aceptable si se considera que el del hormigón armado según la *Norma Chilena* es de 15100vf_c' o sea 15100v250 que es igual a 238752 kg/cm^2.

3. Las *deformaciones de trabajo* "Δ_t", se consideraron a una carga de 900 kg, valor próximo al de la carga mínima a soportar que debía ser de 871 kg, y resultaron de la siguiente forma:

Viga n°	**Carga**	**Deformación**
1	900 kg	2.12 cm
2	900 kg	3.16 cm
3	900 kg	3.34 cm

Aparentemente ninguna viga cumple con la deformación admisible de trabajo que es de 2 cm, esto es porque en los cálculos previos no se consideró la inercia que en la práctica, cuando en conjunto formen una losa, posean las vigas, esto es porque que no se incluyó la inercia que aporta la sobrelosa que es de 4 cm de alto. A continuación se recalculará la mayor deformación de las tres, que es la de la viga 3, con la inercia que en la práctica tendrá la viga, cumpliendo esta se darán las otras por cumplidas.

Primero se calculará la inercia real a partir de la siguiente figura:



(Figura 6.3)

De donde:

$\bar{y} = 18.43$ cm

$I = 3 * 17^3 / 12 + 3 * 17 * (18.43 – 8.5)^2 + 35 * 7^3 / 12 + 7 * 35 * (20.5 – 18.43)^2$

$I = 8307.32$ cm^4

A continuación se recalculará la deformación en la viga 3 mediante la siguiente fórmula:

$\Delta = P * a * (3 L^2 – 4 a^2) / (24 E I)$ [cm]

de donde:

P = 900 kg

L = 480 cm

a = L / 3

E =258609 kg/cm^2

I = 8307.32 cm^4

Por lo tanto:

D = **1.64 cm < 2 cm**

Este valor esta dentro del rango aceptable para la deformación de trabajo, y como este caso era la mayor deformación, las otras también cumplen con este requerimiento.

4. Las tres curvas representan fielmente lo que ocurrió en el ensayo y también lo que en el marco teórico de este trabajo se revisó. Se distinguen tres etapas en cada una de ellas: la primera es en donde la curva es casi lineal, este rango es completamente elástico y no se aprecian grietas; en la segunda etapa ya empiezan a aparecer pequeñas fisuras y deformación ya no es proporcional a la carga, se comienzan a visualizar deformaciones plásticas; y en la tercera, aumenta el número de fisuras, las que, por su forma, son provocadas por la flexión de la viga, el comportamiento ya es netamente plástico. Al quitarle la carga a las vigas, esta presenta una visible deformación permanente producto del estado plástico que alcanzó.

CAPÍTULO VII

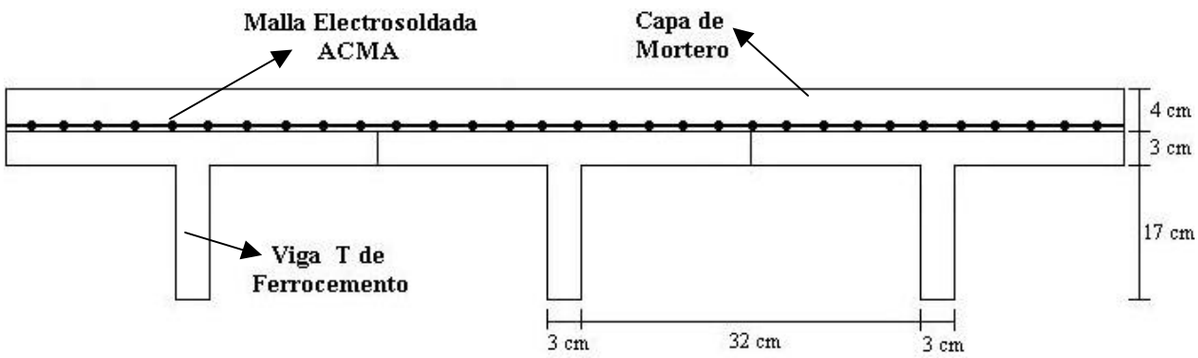
PROPUESTA DE DISEÑO PARA LOSA DE ENTREPISO A PARTIR DE VIGA CON PERFIL "T" DE FERROCEMENTO

En este capítulo se dará una propuesta del diseño de una losa a partir de las vigas "T" de ferrocemento ya diseñadas, fabricadas y ensayadas satisfactoriamente.

El diseño previo de las vigas (Capítulo III) se hizo considerando las cargas a que realmente estarán solicitadas las vigas puestas para formar la losa, estas cargas son el peso muerto, en que se considera el peso de la viga más el de la capa de mortero o sobrelosa de 4 cm, y la sobrecarga que se consideró de 300 kg/m^2, el mortero de sobrelosa tendrá un f_c de 200 kg/cm^2. Y como se tiene la certeza de que las vigas soportan la solicitación de diseño, ahora basta solamente describir la disposición en que irán las vigas.

Las vigas se pondrán en forma yuxtapuesta, vale decir, una junto a la otra en forma inmediata. Es muy importante decir que aparte de la capa de mortero que irá sobre las vigas, también irá una malla electrosoldada ACMA, esta se pondrá inmediatamente encima de las vigas y previo a la colocación del mortero, su función será principalmente para asegurar que no haya ningún problema de inestabilidad o volcamiento en las vigas. La idea es que todo este sistema forme un diafragma rígido que nos asegure un buen funcionamiento como losa.

A continuación se ilustrará (Figura 7.1) mediante un dibujo el sistema de losa compuesto por las vigas "T" de ferrocemento más la sobrelosa armada con malla electrosoldada ACMA propuesto anteriormente.



(Figura 7.1)

"SISTEMA DE LOSA COMPUESTO POR LAS VIGAS "T" DE FERROCEMENTO"

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES.

De todo el trabajo anteriormente realizado en el diseño, fabricación de las vigas con perfil “T” de *ferrocemento* y considerando los resultados de los ensayos realizados, se puede concluir lo siguiente:

1. Facilidad de construcción. Su construcción no presenta mayor dificultad y no se necesita personal de alta calificación. También, es bueno señalar que al producirse una rotura localizada se puede reparar fácilmente añadiendo mortero en la parte dañada, este al fraguar regenera las características del elemento sometido a reparación.

2. Bajo costo. Está respaldado por el bajo costo de los materiales utilizados en su elaboración, la utilización del personal sin gran calificación, empleo de un mínimo de equipos en su ejecución y colocación. Además, como generalmente se trabaja con espesores muy pequeños, el material utilizado resulta ser muy poco en relación al hormigón armado. Todo esto, sumado al poco tiempo que es necesario para su construcción, nos asegura una disminución en el costo final de los elementos de *ferrocemento*.

3. Prefabricación. El hecho de ser vigas prefabricadas facilita llevar un mejor control de calidad, sumado a esto, se logran garantizar mediante buenos moldajes las dimensiones exactas del elemento dadas por el proyecto. Con la introducción de equipos se puede lograr una alta productividad.

4. Diseño. Se pudo comprobar en los ensayos que el diseño en *estado último o de rotura* es perfectamente aplicable al ferrocemento, no es aparentemente necesario una normativa especial para este material.

5. Agrietamiento. El *Ferrocemento* presenta buena resistencia al agrietamiento. Debido a la gran distribución que presenta el refuerzo, existe una disminución considerable del ancho de grieta, lo que contribuye a que aumente su impermeabilidad, así como la resistencia a la corrosión. Los anchos de las grietas se verificaron en el ensayo y no pasan de ser sólo fisuras.

6. Resultados de ensayos. A partir del análisis de resultados se concluye que es factible prefabricar vigas con perfil “T” de *ferrocemento* para la construcción de una losa de entrepiso, pues, en el ensayo se cumplió satisfactoriamente con la resistencia requerida, las deformaciones admisibles, se logró medir un módulo de elasticidad del material que es muy similar al del hormigón armado, y por último, el comportamiento mecánico de la viga fue el adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

I. McCORMAC, JACK. 2002. “DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO”. 4° EDICIÓN. EDITORIAL ALFAOMEGA.

II. TAPIA, CLAUDIO. 2001. “ESTUDIO TEÓRICO – EXPERIMENTAL DE VIGAS DE FERROCEMENTO DE SECCIÓN TIPO “U” SOMETIDAS A FLEXOTRACCIÓN”. TESIS U.A.CH.

III. 1999. “CODIGO DE DISEÑO DE HORMIGÓN ARMADO-BASADO EN EL ACI318-99”. COMISIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO Y ALBAÑILERÍAS.

IV. WAINSHTOK, HUGO. 1998. “FERROCEMENTO – DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN”. 3° EDICIÓN. EDITORIAL OFFSET ABAD CÍA. LTDA.

V. HOFFMANN, RODOLFO. 1994. “FERROCEMENTO, UN DESAFÍO PENDIENTE”. INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN.

VI. BAEZA, GONZALO. 1993. “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS EN FERROCEMENTO”. TESIS U.A.CH.

VII. PEÑA, JAIME. 1993. “CONSTRUCCIÓN Y ENSAYOS DE LOSAS EN FERROCEMENTO”. TESIS U.A.CH.

VIII. OLVERA, ALFONSO.1991. “DISEÑO Y REVISIÓN DE ELEMENTOS DE FERROCEMENTO SOMETIDOS A FLEXIÓN”. CECAT.

IX. PAUL, B y PAMA, R. 1981. “FERROCEMENTO”. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C.

Referencias de Internet:

i. http:// www.acma.cl

ii. http:// www.ferrocement.com

iii. http://www.gerdauaza.cl

iv. http://www.sisib.uchile.cl/web2/tramp2.exe/log_in?invitado=guest&SETTING_KEY=Spanish&url=&Catalogo.x=46&Catalogo.y=14