



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

## **“Reparación de vigas T de ferrocemento y su aplicación como losa”**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA:  
SR. HERNÁN ARNÉS VALENCIA  
INGENIERO CIVIL

**RODRIGO ANTONIO HERRERA BOEKEMEYER**  
**VALDIVIA – CHILE**  
**2006**

## **Resume**

This undergraduate thesis consists of designing repairs to T-beams, previously tested in conditions demanding their full resistance capabilities. These beams were designed and tested by the student Rodrigo Carillo Mora as part of his project "Design, Manufacture and Testing of T-Beams". The main objective of the current thesis is to demonstrate the feasibility of repairing such beams as well as verifying their re-use within structures.

## **Agradecimientos**

A mis padres, Tito y Verónica, por la educación entregada, y por su apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanas Paula y Camila, por su apoyo entregado, a Maritza, mi polola, que fue mi pilar fundamental para terminar este gran logro.

Agradezco además especialmente a mi amigo Ariel, que colaboró en sacar adelante este trabajo.

# Índice de Contenidos

1	Planteamiento del Problema .....	3
1.1	Introducción.....	3
1.2	Reseña Histórica.....	5
1.3	Objetivos.....	10
1.3.1	Objetivo General .....	10
1.3.2	Objetivos Específicos .....	10
1.4	Metodología de Trabajo .....	11
2	Propiedades del Ferrocemento .....	13
2.1	Definición .....	13
2.2	Armaduras .....	14
2.2.1	Armadura Difusa .....	14
2.2.2	Armadura Discreta.....	14
2.3	Materiales Constituyentes del Ferrocemento .....	16
2.3.1	El Mortero .....	16
2.4	Propiedades Mecánicas .....	22
2.4.1	Generalidades .....	22
2.4.2	Resistencia a la Compresión.....	22
2.4.3	Resistencia a la Tracción .....	22
2.4.4	Resistencia a la Flexión .....	23
2.4.5	Resistencia al Agrietamiento .....	25
2.4.6	Resistencia al Corte .....	26
2.4.7	Resistencia al Impacto .....	27
2.4.8	Resistencia a la Corrosión y Durabilidad .....	27
3	Normativa y Diseño de reparación de Vigas T de Ferrocemento.....	28
3.1	Normas y Códigos .....	28
3.2	Cargas de Diseño y Combinaciones de Carga.....	29
3.2.1	Cargas de Diseño .....	29
3.2.2	Carga de Viento.....	29
3.2.3	Carga de Nieve .....	29
3.2.4	Carga Muerta .....	29
3.2.5	Sobrecarga de Uso o Carga Viva.....	29
3.2.6	Carga Sísmica.....	29
3.3	Resistencia.....	31
3.4	Suposiciones para el diseño de Reparación de elementos de ferrocemento sometidos a flexión.....	32

3.5	Diseño de la Viga .....	33
3.5.1	Cálculo del Momento Nominal .....	33
3.5.2	Cálculo del Momento Último .....	37
3.5.3	Verificación de Diseño .....	39
4	Fabricación de Reparación de Vigas con Perfil “T” de Ferrocemento.....	41
4.1	Fabricación del Moldaje .....	41
4.2	Fabricación de la Armadura .....	41
4.3	Vaciado del Mortero.....	42
4.4	Desmolde .....	42
5	Ensayo de Flexotracción.....	43
5.1	Resultados Ensayo de Losa .....	47
5.1.1	Primer Ciclo de Carga (0,300,0).....	47
5.1.2	Segundo Ciclo de Carga (0,500,0) .....	48
5.1.3	Tercer Ciclo de Carga (0,700,0).....	49
5.1.4	Cuarto Ciclo de Carga (0,1100).....	50
5.1.5	Tabla de Datos “Ensayo no destructivo de Vigas” .....	51
6	Conclusiones.....	52
7	Referencias Bibliográficas.....	54

# Capítulo I

## 1 Planteamiento del Problema

### 1.1 Introducción

En esta memoria de titulación se estudiará la reparación de vigas construidas de un material muy poco estudiado y utilizado en nuestro país, el ferrocemento, el cual es un material para la construcción, basado en hormigón de poco espesor, flexible, en la que el número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notablemente mejorado con relación al hormigón armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas.

El comité 549 del American Concrete Institute lo define como un tipo de construcción de concreto hidráulico con espesores delgados, reforzado con capas de mallas continuas constituidas por elementos de pequeños diámetro. La malla puede ser metálica o de otros materiales adecuados.

El ferrocemento, aunque de uso discontinuo en sus primeras épocas, es un material casi contemporáneo del hormigón armado. Sus primeras incursiones fueron hace más de 150 años, exactamente en 1849, en aplicaciones del área naval. En las últimas décadas, se ha experimentado e investigado acerca de otros usos que se le puede dar a este material constructivo. Es así como se ha utilizado ahora último en la agricultura, en viviendas, piscinas, alcantarillas, puentes y otros elementos. En nuestro país, es muy poco lo que se ha investigado de este material, y hasta ahora, solo se le ha dado aplicaciones en la construcción de viviendas, edificaciones de baja altura, y ahora último, la fabricación de vigas de este material.

De acuerdo a los ensayos realizados en diversas investigaciones, se ha descubierto, que las vigas presentan un muy buen comportamiento mecánico al ser exigidas a cargas de flexotracción. Es por esto, que nace la inquietud de desarrollar e investigar en vigas de este material.

La presente memoria, tiene por objetivo reparar una serie de tres vigas con perfiles "T", diseñadas en la memoria "Diseño, Fabricación y Ensayo de Vigas con Perfil "T" de Ferrocemento", del alumno Rodrigo

Carrillo Mora. Estas vigas fueron previamente ensayadas a flexotracción y exigidas a su entera capacidad admisible. El motivo de esta investigación es demostrar que estas vigas son reparables y reutilizables a un bajo costo, si es que se requiere.

Posterior al diseño y a la fabricación de la reparación de dichas vigas, se procederá a colocar un mortero de sobrelosa sobre estas tres vigas, con un espesor de 7 cms, formándose así, una losa apoyada en estas tres vigas reparadas y aplicándole carga en forma distribuida.

## 1.2 Reseña Histórica

La historia del ferrocemento viene del siglo XIX, específicamente del año 1852, con el francés Joseph Lambot, que construyó botes a remo, recipientes y otros artículos con un material que describió su base como una malla metálica de alambre o de varillas interconectadas para formar un emparrillado flexible, moldeándola en forma similar al artículo que se quiere crear, utilizando después un cemento hidráulico para rellenar las juntas, patentando este material como "Ferciment". La primera construcción fue una barca, hecha en 1849. Esta barca aún estaba a flote en 1949, o sea 100 años después de su construcción, y luego continuó en exhibición en el museo de Brignoles, Francia. Pero no fue hasta principios de los años cuarenta, en que un notable ingeniero y arquitecto italiano, llamado Pier Luigi Nervi, reutilizó la idea original de Lambot al observar que reforzando el mortero con diversas capas de mallas de alambre, se obtenía un material que presentaba extraordinarias características mecánicas y gran capacidad de reflejar grietas. Este personaje, a través de una serie de pruebas, estableció las características preliminares del ferrocemento. Posterior a esto, y durante la segunda guerra mundial, el ferrocemento fue aceptado por el registro naval italiano y se construyeron una serie de navíos de este material.

Uno de estos navíos fue a la que llamó Irene, que tenía un desplazamiento de 165 toneladas, su casco tenía 35 mm de espesor y según Nervi, el peso de la embarcación era 5% menor y su costo un 40% menor que un casco similar construido con madera.

Estudios posteriores, confirman además que no solo en Europa se estaba trabajando en esa época en la construcción con ese material, sino también en China, específicamente en la comuna popular de Horse Bridge, en la provincia de Shanghai, donde se reconstruyeron barcos de ferrocemento en sustitución de la madera.

No solo en el ámbito naval, se desarrolló la construcción con ese material, sino también en la construcción, ya que Nervi fue el primero en emplear en 1947 el ferrocemento en la construcción de una pequeña bodega.



Nervi también construyó el hall de la exposición mundial de Turín de 1949 con piezas premoldeadas cuyo espesor no superaba los 40 mm y cubrió una luz de 98 mt sin apoyo intermedio.

Es en este campo de la construcción, donde Nervi se destacó con obras notables como las anteriormente descritas, el empleo de elementos prefabricados de ferrocemento constituyó un factor decisivo para llegar a una solución simple y eficiente.

Posterior a esto, Nervi proyectó y construyó además la sala C del mismo Palacio de Exposiciones de Turín, con dimensiones de 55 por 165 m en planta donde utilizó el mismo procedimiento anterior para la cubierta plana perimetral y en la forma abovedada utilizó un elemento de sección transversal sinusoidal y espesor de 2 centímetros para salvar una luz de 9 metros con la placa superior hormigonada en el lugar.

Nervi realizó una serie de obras notables, como el edificio de la feria de Milán, el Palacio de Deportes de Florencia con 60 metros de luz, el Palacio de Roma, entre otros.

En Nueva Zelandia, a finales de la década del 50, comenzó a tomar auge la construcción de barcos de ferrocemento. En 1963, el Awhane, de un poco más de 16 metros de eslora, fue construido por Griffith, pesó 2 toneladas menos que uno similar de madera y navegó alrededor del mundo sin el más mínimo daño.

En la República Popular China, la construcción de barcos de ferrocemento ha tenido gran desarrollo, cientos de unidades de producción en más de diez provincias del país construyen más de cien tipos de embarcaciones, desde los pequeños botes para su uso en la agricultura hasta patanas de 1.000 toneladas de capacidad, barcos de transporte para 600 pasajeros y de carga hasta 3.000 toneladas.

Posteriormente la construcción de barcos de ferrocemento se difundió rápidamente por Inglaterra, Canadá, Rusia, Estados Unidos, Cuba, etcétera.

Ya en 1967, existían en la antigua Unión Soviética normas para el uso del ferrocemento, las primeras recomendaciones oficiales sobre su uso en edificaciones. La versión más reciente de estas normas está vigente desde julio de 1986. También en Checoslovaquia se empezó a utilizar el

ferrocemento en la década de los cincuenta, con ejemplos de cubiertas colgantes, vigas para puentes, tubos de presión entre otros.

En 1960, Walkus describe el uso del ferrocemento en Polonia en elementos prefabricados de cubierta, conductos y depósitos, así como muestra la novedosa técnica empleada para construcción de los primeros.

En la India, Tailandia y en general en los países del sudeste asiático, se ha desarrollado notablemente la utilización del ferrocemento en pequeñas obras agrícolas y para el uso humano como silos, depósitos de agua, biodigestores, fosas sépticas y viviendas.

En México, Alfonso Olvera, expone con lujo de detalles los trabajos desarrollados en ferrocemento en el país: canales de riego, depósitos, almacenes, viviendas y otros. Posterior a esto, el siguió con la investigación de este material, construyendo almacenes, edificios, y conjuntos de viviendas, entre otros.

En Brasil, uno de los países de mayor desarrollo en la aplicación de esta técnica en la construcción, el ferrocemento sería empleado por primera vez en la Escuela de Ingeniería de San Carlos de la Universidad de San Pablo. Sus principales aplicaciones, realizadas por el llamado grupo de San Carlos formado por Martinelli, Schiel, Petroni, Hanai y otros, ha sido en piscinas, cubiertas, depósitos elevados y soterrados, escuelas prefabricadas, puentes, etcétera. Se destacan la cubierta para la Escuela de Ingeniería y la fábrica de productos lácteos en San Carlos, sin embargo, por el área a cubrir y las dimensiones, el ejemplo más notable de cubierta realizada en el Brasil es la de el Terminal de Ómnibus de Florianópolis, donde 15.100 metros cuadrados de área fueron cubiertos con vigas de sección transversal en forma de hexágono, simplemente apoyadas con una luz de 23 metros y un voladizo de 12 m.

Otras obras de cubierta a destacar entre las realizadas por el Grupo de San Carlos, fueron las cubiertas de Araraguara y Rolandia de 40 y 60 metros de diámetro respectivamente, además de un almacén de azúcar a granel con cubierta formada de elementos rectos prefabricados.

En Bolivia y Ecuador se ha comenzado a utilizar el ferrocemento recientemente, especialmente en el primero donde a partir de cursos de adiestramiento impartidos por el arquitecto Marco Moscoso, lo ha utilizado en viviendas e iglesias utilizando formas curvas con gran éxito.

En Cuba, a mediados de 1960 se planteó la necesidad de desarrollar una flota pesquera que satisfaga las necesidades crecientes del país, en la explotación de los recursos marinos. Era necesario sustituir los viejos barcos de pesca de madera que existían en ese momento, pues la madera para la construcción de embarcaciones era escasa en Cuba y debía importarse de otros países. No se tenía tampoco experiencia en la construcción de barcos de acero, por lo que no existían los obreros de alta calificación necesarios en este tipo de construcción, ni se contaba con una industria siderúrgica que pudiera garantizar el acero necesario. Había por lo tanto, que buscar nuevas alternativas.

En 1967 se conocieron en nuestro país los resultados obtenidos en la construcción de barcos de ferrocemento en Nueva Zelanda y Canadá, y se decidió construir un prototipo a partir de un proyecto existente para barcos de madera denominado FC-I que se terminó de realizar en 1969 el que después de terminado y lanzado al mar, desplazó más de lo calculado, defecto producido por el exceso de peso del casco. Este y otros problemas detectados durante la navegación, determinaron que el barco no cumpliera los requisitos establecidos por los reglamentos navales, por lo que no se siguió construyendo más barcos de este tipo. Después de efectuar un análisis de los resultados obtenidos con el FC-I se realizó un nuevo diseño, el FC-II, el cual se comenzó a producir entre los años 1970 y 1972, con el que se obtuvieron mejores condiciones marinas.

En los últimos años las construcciones de ferrocemento se han multiplicado en el país, depósitos de agua, monumentos, pontones y tanques de biogás, han sido ejecutados en varias provincias y se comenzó con resultados satisfactorios. Sin embargo, las obras más significativas y numerosas son las construcciones de viviendas y piscinas. En 1982 se ejecutó la primera piscina de ferrocemento en Cuba, construida en Villa Loma, Cuba. Sus dimensiones fueron: 25 metros por 12,5 metros, en su parte mas profunda tiene 2,2 metros, con espesores de 18 mm en las paredes y 20 mm en el fondo. El costo total fue casi diez veces inferior a una de hormigón armado de iguales dimensiones.

A partir de esa fecha, es un sin número de piscinas las que se han construido de este material a lo largo de cuba.

No solo piscinas y viviendas se comenzaron a construir en Cuba, sino también, en 1982, se construyeron a escala natural más de cien

esculturas de animales prehistóricos. Estas grandes figuras de animales, construidas de ferrocemento, tienen hasta 12 metros de altura y 18 de metros de largo.

Como vemos, cada día, el ferrocemento está cobrando mucho más interés y auge, y seguramente dentro de pocos años se convertirá en uno de los materiales constructivos más aplicados en grandes obras de Ingeniería y Construcción.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Estudiar la factibilidad de reparar vigas de ferrocemento para su reutilización como elemento estructural.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- La verificación del Ferrocemento como material para recuperar resistencia en vigas del mismo material ya colapsadas o dañadas.
- Diseñar la reparación de vigas de ferrocemento con perfil "T", considerando las vigas totalmente dañadas, y considerando cargas permanentes y sobrecargas de uso normales de acuerdo a lo dispuesto por la Norma Chilena.
- Fabricar la reparación y su sobrelosa, y ensayar las nuevas vigas "T" 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 reparar de ferrocemento.

#### 1.4 Metodología de Trabajo

Globalmente, después de haber diseñado las reparaciones de estas vigas, se procederá a la fabricación de la reparación y de la sobrelosa que irá sobre estas tres vigas, y posteriormente, su ensayo. Estas etapas se desarrollarán como a continuación se describe.

Para la fabricación de las reparaciones de las vigas "T" de ferrocemento, se construirá el moldaje, el cual considerando que las vigas tienen una longitud de 4,8 metros, se construirá con maderas nobles, apropiadas para no tener problemas con posibles deformaciones. Además, como el mortero que se utilizará para la reparación será fluido, se recubrirá completamente la zona de contacto con un desmoldante apropiado, para así no tener problemas de retención ni absorción del agua del mortero.

Una vez listo el moldaje, se procederá a instalar la armadura, en la cual se utilizará como armadura difusa, malla hexagonal y como armadura discreta. Todos estos elementos se definirán y se describirán mas adelante, además de su cuantificación.

Cuando esta armadura esté totalmente lista, se colocará dentro del moldaje, y se afinarán los últimos detalles para que el conjunto quede en óptimas condiciones para recibir el mortero.

La mezcla a utilizar, será un mortero de tipo premezclado, donado por la empresa Hormigones Premix S.A., despachado desde la planta de Valdivia. Las propiedades que tendrá este mortero, será de una trabajabilidad fluida, hecho con arena fina (menor a 3 mm.), para tener la certeza de que penetre y fluya en todas partes de la armadura y moldaje. Las especificaciones de resistencia y su respectiva memoria de cálculo será descrita mas adelante.

Una vez depositado el mortero en el moldaje, se dejará transcurrir una cierta cantidad de días, para obtener una resistencia adecuada para desmoldar, y construir nuestro nuevo moldaje para llenar la sobrelosa que llevarán las vigas. Los días que se esperará para desmoldar dependerán exclusivamente de la dosificación del mortero, la cual se dará posteriormente. El ensayo a realizar, consiste en aplicar una carga distribuída sobre esta losa, cuyas tres vigas, se encuentran simplemente apoyadas. La idea es efectuar ciclos de carga y descarga para medir la

deformación que puedan tener estas vigas reparadas. Esta experiencia se desarrollará en el “Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, L.E.M.C.O”, dependiente del Instituto de Obras Civiles de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral de Chile.

## Capítulo II

### 2 Propiedades del Ferrocemento

#### 2.1 Definición

Por lo general, un material compuesto consiste en una matriz y en un refuerzo que actúan juntos para formar un nuevo material, con características superiores a las de cada uno de sus componentes en forma aislada. El ferrocemento es un material compuesto, que tiende a ser homogéneo, que contiene un alto porcentaje de malla de alambre de acero dúctil, con alta relación de superficie a volumen en una matriz de mortero, permitiendo que la matriz asuma las características dúctiles del refuerzo.



## 2.2 Armaduras

La función de la malla de alambre, es conformar una estructura y soportar el mortero sin fraguar, en el caso en que no se use moldajes, 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.

Las armaduras del ferrocemento se pueden clasificar en dos tipos:

### 2.2.1 Armadura Difusa

Compuesta por una o más capas de malla de alambre, que ayuden 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.

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

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.

### 2.2.2 Armadura Discreta

Este tipo de armadura se refiere a la armadura resistente y se distinguen dos tipos.

- **Armadura de Esqueleto:** Tiene como función otorgar resistencia al elemento, y además sostener la armadura difusa. Son barras de acero de entre 4 y 12 mm de diámetro, que van soldadas o amarradas firmemente entre sí, lo más espaciado posible. Se distribuyen de forma longitudinal y transversal dando forma al elemento de ferrocemento deseado.
- **Armadura Suplementaria:** Son barras de acero, que su función es de resistencia o estructural, que actúa en conjunto con la armadura difusa. Este tipo de armadura al igual que la de esqueleto, se presentan en diferentes formas, dependiendo básicamente de su resistencia, tamaño, etcétera. Características que finalmente inciden en su comportamiento.

Los elementos diseñados en Ferrocemento pueden disminuir hasta en un 50% el volumen, y hasta un 35% la armadura, en comparación con su similar (en resistencia) diseñado en hormigón armado.

Otras ventajas del Ferrocemento, que han dado como resultado de su uso en edificaciones, son:

- De fácil aplicación y construcción: No se necesita a personal altamente capacitado para su fabricación ni para su colocación.
- Bajo costo de fabricación: Los materiales usados para su fabricación, así como su volumen y la mano de obra reducida a ocupar reducen notablemente el costo del material.
- Excelente aislador térmico y acústico: Su composición hace que el Ferrocemento sea un aislador térmico seis veces mayor a la del acero, absorbiendo, además, el sonido mejor que muchos otros materiales.

## **2.3 Materiales Constituyentes del Ferrocemento**

A continuación se describirá los materiales con que se fabricará el ferrocemento que se utilizará en este trabajo de investigación.

### **2.3.1 El Mortero**

El mortero que se utiliza normalmente en el ferrocemento, es en base a cemento hidráulico, arena y agua, y además en ocasiones, se le agregan aditivos como plastificantes o superplastificantes, para mejorar sus propiedades, o bien dependiendo del elemento a hormigonar. Lo más importante que hay que considerar es que de acuerdo a su diseño, tenga la mayor resistencia posible a la compresión, que sea una mezcla uniforme y compacta, con una baja cantidad de poros, ya que como se conoce, los agentes agresivos del medio ambiente (Mecánicos y Físico-Químicos), provocan desgastes, y a su vez corrosión sobre las armaduras.

#### **Componentes del Mortero**

Como se mencionó anteriormente, se trabajará con un mortero premezclado, otorgado por la empresa Hormigones Premix S.A., que a continuación se describirán sus componentes.

##### **A) Cemento**

Como es de conocimiento, el cemento es un material con propiedades de adherencia y cohesión, que lo hacen capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta, que con presencia de agua, este material reacciona formando una pasta, que a través del tiempo, forma una masa firme y dura.

Cabe destacar que para el Ferrocemento, es recomendado el cemento de clase Pórtland, ya sea Puzolánico o Siderúrgico, de grado corriente, o de grado Alta Resistencia. La elección del cemento depende básicamente de las condiciones de servicio, que se clasifican a su vez como electroquímicamente activas o pasivas. En este caso, donde suponemos una reparación de forma masiva de vigas, donde el moldaje puede ser reutilizado con frecuencia, o el tiempo es una variable crítica, hablamos de una estructura pasiva, y es recomendable un cemento de clase Pórtland, para tener mayores resistencias iniciales, con el fin de desmoldar lo antes posible.

En el caso del mortero utilizado para la reparación, como para la sobrelosa, se utilizó cemento Melón Extra(Alta Resistencia), el cual es de tipo Pórtland Puzolánico, de fraguado rápido, el cual desarrolla resistencias tempranas, que se utiliza generalmente cuando se requieren resistencias a edades tempranas.

## B) Áridos

El árido utilizado en la elaboración del mortero es la arena, con un tamaño máximo de aproximadamente 3 mm, aunque dependiendo del espesor del elemento y la densidad de la armadura puede ser necesario limitar el diámetro a valores inferiores a 3 mm. Este material se encuentra disperso en toda la masa del mortero, y ocupa entre el 60 y 70 por ciento del volumen, por lo que el árido utilizado en la producción del mortero de alta calidad para el ferrocemento, debe ser resistente, impermeable, y capaz de producir una adecuada laborabilidad para lograr una buena penetración de las mallas, con un mínimo de relación agua/cemento.

Las arenas a utilizar pueden ser naturales o artificiales producto de la trituración de piedras, y deben satisfacer las propiedades establecidas por las normas: la resistencia a los esfuerzos mecánicos, el contenido máximo de sustancias nocivas, como arcillas, materias orgánicas, polvos y otros.

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 mas densos, con mejor resistencia a los esfuerzos mecánicos y mayor laborabilidad. En cuanto a la forma de los granos, aquellos con formas redondeadas y lisas proporcionan morteros mas laborables con reducción de la cantidad de agua; granos con forma irregular y superficie rugosa, debido a una mejor adherencia con el cemento endurecido, conforman un mortero más resistente a la abrasión y a la tracción. Las arenas con partículas laminadas son consideradas inadecuadas. Las Arenas deben cumplir los requisitos granulométricos de la norma NCh 163 Of.79 "Aridos para Morteros y Hormigones. Requisitos Generales"

El árido utilizado en este caso fue solamente arena fina, debido a la geometría y espacio donde será vertido el mortero. Así, nos aseguramos

además, de que el mortero penetre en todo el moldaje y la armadura, impidiendo que se formen vacíos dentro que van en desmedro del mortero.

#### C) Agua

El agua utilizada para la realización del mortero debe ser fresca y estar ausente de materias orgánicas y sustancias nocivas que pueden afectar las propiedades del mortero o causar la corrosión del acero. El agua de mar no debe ser utilizada. El agua potable resulta satisfactoria, pero hay que tener en cuenta que cualquier impureza que exista en el agua, puede interferir en el fraguado del cemento, afectar también la resistencia, al igual que provocar manchas en la superficie o provocar corrosión en las armaduras. Por esto, es necesario que el agua utilizada, cumpla con la NCh 1498, "Hormigón - Agua de Amasado – Requisitos".

#### 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.

En la gama de aditivos minerales, se encuentran como ejemplos, polvo de ceniza de carbón de piedra, escorias granuladas de alto horno, arena cuarzosa molida y polvo de piedra, entre otros. Este tipo de aditivos reduce el gasto de cemento, sin embargo se encuentran, en la actualidad, obsoletos, siendo superados por los aditivos químicos.

Este tipo de aditivos, según sus características, se pueden dividir de la siguiente manera:

- Plastificantes o reductores de Agua: Son aquellos que actúan sobre el mortero fresco y le proporcionan mejor trabajabilidad, lo que posibilita la reducción de agua necesaria para el mezclado, con la consecuente mejoría en la resistencia mecánica, ya que se reduce la relación agua/cemento, obteniendo una mejor impermeabilidad y durabilidad del mortero.
- Superplastificantes: Son aquellos que contienen productos químicos de elevado poder dispersante y permiten la obtención de morteros fluidos, autonivelantes, con una significativa reducción de la cantidad de agua(Entre

el 25 y 35 por ciento), que posibilita el aumento de la resistencia a tempranas edades.

- **Acelerantes:** Son aquellos que aceleran la reacción del fraguado del cemento. En la actualidad, no se encuentra muy estudiado el comportamiento de este tipo de aditivos, ya que su variación depende mucho de las propiedades del cemento con que se está trabajando. Su uso debe ser con cuidado, ya que puede producir secuelas desfavorables.
- **Retardadores:** Son aquellos que retardan la reacción de la hidratación, y al igual que los acelerantes, su uso debe ser con precaución, dependiendo también de los factores climáticos en que se encuentre el elemento a hormigonar.
- **Impermeabilizantes:** Son aditivos empleados para disminuir la permeabilidad del mortero, reduciendo los vacíos. Contienen agentes hidrófugos, y las últimas investigaciones, demuestran que este tipo de aditivos disminuyen la resistencia de los hormigones hasta un 4 por ciento.
- **Incorporadores de Aire:** Son aquellos que promueven la formación de un número extremadamente elevado de minúsculas burbujas de aire en el mortero, y le confieren mejor trabajabilidad, impermeabilidad, y resistencia a los ciclos de hielo y deshielo.

Existen muchos otros aditivos, que pueden ser utilizados en el ferrocemento, y en todo los casos deben cumplir con las normas vigentes.

En el caso del mortero solicitado para la reparación y sobrelosa, se utilizó el aditivo plastificante y reductor de agua Puzzolith 121 de MBT, y además un aditivo superplastificante R1000 de MBT, para tener un mortero fluido, además de reducir en gran parte la cantidad de agua.

### **Especificaciones del Mortero**

- El mortero a utilizar, tendrá que tener una resistencia a compresión (fc) de 30 Mpa o 300 Kg/cm<sup>2</sup> (M30).
- Como dijimos anteriormente, el mortero debe ser fluido, sobre cono de 18 cms, para que este penetre fácilmente en el moldaje.

- La dosificación del mortero será solamente con arena fina de tamaño máximo de 3 mm, para también facilitar que penetre por la armadura y moldajes.

A continuación se especifica la dosificación del mortero para 1 m<sup>3</sup>.

Material	Cantidad	Unidad de Medición
Arena Fina	1515	Kg
Agua	271	Lts
Cemento Melón Extra	450	Kgs
Aditivo Puzzolith 121	2,93	Kgs
Aditivo R-1000	3,5	Lts

Tabla 2-1: Dosificación de Mortero

Observaciones:

- Este mortero será cargado mediante planta dosificadora de hormigón premezclado.
- El aditivo superplastificante R-1000 se incorporará en obra y se agita enérgicamente en el Camión Mixer durante 5 Minutos.
- El cono de llegada a obra fue de 8 cms.
- Posterior al aditivo R-1000 el cono fue de 19 Cms.

Al no existir un historial de resistencias de este producto, se tomaron muestras en probetas Rilem, que tienen 3 compartimentos similares a pequeñas vigas, cuyas medidas son de 4\*4\*16 cms. El llenado de estas probetas se realiza en dos capas. En la primera, las probetas son llenadas hasta la mitad, luego se compactan dándole 60 golpes de caída libre a la probeta, desde una altura de 1 cms. Luego se rellena con la segunda capa, aplicando nuevamente 60 golpes de caída libre a las probetas. Posteriormente se retira el mortero sobrante, rasando la probeta para dejar su superficie libre. Se tomó una serie de 12 probetas (4 bandejas), para ensayar a 7,14,21 y 28 días respectivamente, con el propósito de ver su

evolución. El desmolde de estas probetas se efectuó a los 2 días, y se curaron en sala de curado de Megacontrol, Osorno.

Los resultados que se obtuvieron a 28 días, fueron los siguientes:

PROBETA	COMPRESIÓN Kg / cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN Kg / cm <sup>2</sup>
1	415	53
	422	
2	419	54
	414	
3	415	54
	409	

Tabla 2-2: Resultados de Ensayo Probetas



## **2.4 Propiedades Mecánicas**

### **2.4.1 Generalidades**

Existen numerosos autores que han estudiado las diferentes propiedades mecánicas del Ferrocemento.

### **2.4.2 Resistencia a la Compresión**

Los resultados experimentales indican que la resistencia del Ferrocemento en compresión está dada fundamentalmente por el mortero en proporción directa al área de su sección transversal. Según ensayos realizados por Bezukladov y Rao las variaciones en la superficie de contacto del refuerzo con el mortero (Superficie Específica) y el factor de refuerzo no ejercen influencia importante en la resistencia a compresión del Ferrocemento. Citando a Johnston y Pama, en ensayos realizado en columnas reforzadas periféricamente, la variación del tipo de refuerzo puede ser relevante en la resistencia a compresión del Ferrocemento. Esta alcanza su mayor aumento usando malla cuadrada. Esta hace que el mortero trabaje sometido a esfuerzos triaxiales lo que se traduce en un aumento el la resistencia a la compresión.

Cabe destacar que el tipo, orientación y colocación del refuerzo puede llegar a tener influencia importante en la resistencia a la compresión.

Bezukladov, Paul y Pama sugieren tomar como resistencia última a compresión del Ferrocemento, el valor de la resistencia del mortero afectado por un coeficiente igual a 0.85. Según el criterio de tensiones admisibles Naaman y Petroni coinciden en sugerir valores máximos entre 12 y 14 MPa.

### **2.4.3 Resistencia a la Tracción**

La resistencia a la tracción del Ferrocemento es igual a la capacidad de soporte del elemento a esfuerzos de tracción, dividido por la sección transversal del elemento.

Ensayos del tipo monoaxial dan como resultado la presencia de tres zonas de comportamiento, las cuales se señalan el la figura.

- Zona I : Rango elástico, la curva es básicamente lineal. El Ferrocemento se comporta como material homogéneo dentro del rango elástico: las deformaciones son totalmente elásticas.
- Zona II: Rango elastoplástico. El mortero presenta pequeñas deformaciones plásticas, pero estas son limitadas a las deformaciones elásticas de la armadura. Aparecen microgrietas casi invisibles.
- Zona III: Rango Plástico. El mortero pierde su capacidad de soportar el esfuerzo de tracción y el comportamiento queda controlado solamente por la armadura. Las deformaciones dentro de este rango son totalmente plásticas y se produce un incremento en el número de grietas y un ensanchamiento gradual de éstas.

A.E. Naaman y Surendra P. Shah han realizado ensayos de tracción a elementos, llegando a variadas conclusiones dentro de las cuales podemos nombrar:

La carga final tiene el valor de la carga que es capaz de resistir el refuerzo en la dirección de la carga.

Debido a que en el Ferrocemento el refuerzo es de diámetro pequeño, el área de adherencia es considerablemente mayor que si se empleara un refuerzo convencional. Esta parece ser la razón principal por la cual es posible emplear refuerzo de alta resistencia y alcanzar mayor resistencia a tracción del mismo orden de la resistencia a compresión del mortero y al mismo tiempo obtener grietas de anchos pequeños.

#### **2.4.4 Resistencia a la Flexión**

La resistencia a la flexión deriva, principalmente de la resistencia combinada del elemento, es decir del mortero trabajando a compresión, y del refuerzo trabajando a la tracción. Análogo a lo que ocurre en el Hormigón Armado.

En el comportamiento del Ferrocemento a la flexión, deben tenerse en cuenta tres posibles fallas o límites: la rotura del elemento, la formación de la primera grieta que permite corrosión o permeabilidad, y la limitación de la deformación por problemas de servicio o estructurales.

La resistencia del Ferrocemento a la flexión depende no solamente de la superficie específica, sino también del tipo de malla, su orientación y

su geometría intrínseca así como la presencia o no de armadura de esqueleto y suplementaria.

La orientación de la malla representa un factor importante a tener en cuenta en la flexión, al igual que en la tracción, particularmente cuando se tiene en cuenta la resistencia a la carga en dos direcciones. Mientras la malla cuadrada ofrece igual resistencia en las direcciones paralelas a los alambres, la resistencia disminuye en un 67-80% cuando se orienta a 45°. En las telas de malla de metal expandido y hexagonal la resistencia en la dirección transversal es de 33-57% respectivamente de la obtenida en la dirección normal. Estas reducciones son mayores que las esperadas sobre la base de considerar solamente la disminución del área efectiva del refuerzo.

El comportamiento a la flexión de elementos de Ferrocemento ha sido estudiado por D.Logan y S.P.Shah, los que concluyen, entre otras cosas:

- La resistencia final en vigas de Ferrocemento puede predecirse empleando los métodos del diseño al Límite que se aplica a vigas de Hormigón Armado.
- Al incrementar la superficie específica del refuerzo, se incrementa el momento en el cual se presentan las primeras fisuras (de 0.0003 pulg de ancho).

Los señores A.Kamasundara y C.S.JC Ajlapa Gotw-Dar concluyen, para el comportamiento en flexión, de elementos de Ferrocemento, que:

- Las grietas en Ferrocemento difieren de las del Hormigón Armado. Son más numerosas pero de menor ancho. Al quitarse las cargas las grietas se cierran en forma considerable, esto se produce aún en la falla.
- La forma estructural se mantiene hasta la falla.
- El comportamiento homogéneo del material se incrementa con el incremento del acero.
- La resistencia a la flexión es mayor si se emplean alambres de menor diámetro, manteniendo el área total de acero.

- El módulo de elasticidad en flexión crece en forma lineal con el incremento de refuerzo.
- Para iguales cantidades de refuerzo el módulo de elasticidad es mayor si se emplean alambres de menor diámetro.
- La flexibilidad crece con el incremento del acero de refuerzo.

Segun Collin D. Jofinston y D.Mowat, el análisis y comportamiento a flexión de elementos de Ferrocemento concluye que:

- La resistencia del mortero, el que sea ligero o de peso normal es relativamente de poca importancia.
- La orientación de las mallas tiene marcada importancia del sistema, armado con metal desplegado y malla soldada.
- Decreciendo la sección transversal de los elementos de acero y consecuentemente incrementando el área superficial aparece como deseable para refuerzo sujeto a falla de adherencia. Esto es probablemente de menor importancia cuando la fractura por adherencia no es un problema.
- El comportamiento es óptimo cuando las capas de refuerzo se espacian uniformemente a lo largo del espesor de la sección.

#### **2.4.5 Resistencia al Agrietamiento**

Se conoce que la resistencia al agrietamiento es el indicador fundamental de la solidez y la seguridad de las estructuras de hormigón y hormigón armado.

El mecanismo básico de fallo del mortero y el hormigón bajo cargas sucede del inicio y propagación de pequeñas grietas, que se extienden e interconectan hasta que toda la estructura interna está completamente quebrantada. Los diferentes estados de la formación de una grieta en un material compuesto como el Ferrocemento puede ser aproximadamente ilustrado por el clásico mecanismo de agrietamiento de elementos de hormigón armado, suponiendo que los esfuerzos de tensión en el mortero alrededor del acero están uniformemente distribuidos en la sección efectiva transversal y que una determinada distribución de los esfuerzos de adherencia existen a lo largo del mismo.

Las primeras grietas se forman en las secciones donde las tensiones uniformes de tracción sobrepasan la resistencia del mortero, ocurriendo un deslizamiento entre éste y el refuerzo en la sección agrietada. En la sección agrietada toda la fuerza es tomada por el acero, sin embargo, debido al fenómeno de la adherencia que hace que el mortero tienda a deformarse junto al refuerzo de acero, surgen tensiones de tracción en el mortero en los espacios entre grietas. La magnitud y distribución del esfuerzo de adherencia entre el mortero y el refuerzo determinará la distribución de las tensiones en ellos y entre las primeras secciones agrietadas.

Una nueva grieta se forma cuando la carga externa se incrementa y las tensiones uniformes en el mortero exceden la resistencia de éste. El agrietamiento continuará ocurriendo entre grietas existentes hasta que las tensiones sobre el mortero no excedan la resistencia del mismo, debido a que el exceso de estiramiento y la pequeña distancia entre grietas no le transmiten suficientes tensiones. Cuando se alcanza esta condición, la distancia entre las grietas permanece constante, pero la abertura de las mismas se incrementa a medida que se incrementan los esfuerzos de tracción sobre el refuerzo.

El Ferrocemento que constituye la combinación del mortero de cemento, arena y telas de mallas de celdas pequeñas colocadas a poca distancia una de otra, posee una serie de propiedades muy valiosas que no son propias del hormigón. Entre las cuales nombramos:

- En el proceso de compactación del mortero de cemento y arena mediante vibración, aparecen campos secundarios de vibración originados por las mallas de refuerzo, ello conduce a una distribución mas uniforme del mortero y al aumento de su densidad.
- La gran dispersión del refuerzo incorpora el trabajo activo a toda la masa del mortero. De ahí su elevada viscosidad y resistencia al agrietamiento, sobre todo, a la apertura de las grietas.

#### **2.4.6 Resistencia al Corte**

La contribución conjunta de la matriz y las fibras del compuesto, son las que fundamentan la resistencia a los esfuerzos de corte del ferrocemento. No se experimenta desunión debido a este esfuerzo entre los materiales que componene el ferrocemento, esto quiere decir que la

deformación por corte en la matriz es la misma deformación por corte que se produce en el conjunto.

La elevada proporción de la superficie específica del refuerzo con respecto al espesor del elemento, como lo es el caso común en la utilización del ferrocemento, hace muy difícil que los elementos fallen por causa de un esfuerzo cortante.

#### **2.4.7 Resistencia al Impacto**

Dada la complejidad que presenta las mediciones experimentales respecto a la resistencia al impacto, no existe mucha información al respecto. Ahora si se apela a la experiencia en barcos y su comportamiento durante colisiones se puede asociar al ferrocemento un favorable comportamiento ante cargas de impacto, ello principalmente asociado a la resistencia a la desintegración del mortero, localización del daño y fácil reparación.

Aunque la información respecto De este tema no es la suficiente para entregar una opinión concluyente, se puede decir que las barras, la superficie específica y quizás también el tipo y la geometría de la malla son factores de primera importancia en la resistencia al impacto del elemento.

#### **2.4.8 Resistencia a la Corrosión y Durabilidad**

- Puesto que el recubrimiento utilizado en elementos de ferrocemento es muy pequeño, los agentes corrosivos pueden llegar hasta el acero de refuerzo con relativa facilidad.
- El área superficial del refuerzo respecto de la superficie del elemento es bastante alta, esto deriva en que el área sobre la cual actuará la corrosión sea también bastante alta.
- El recubrimiento de zinc presente en refuerzos del ferrocemento puede tener un efecto negativo, ya que puede provocar la formación de burbujas de gas.

En general, estos tres factores podrán variar dependiendo de condiciones ambientales y la calidad constructiva del elemento, ya que una de las características del ferrocemento es su baja permeabilidad.

## Capítulo III

### 3 Normativa y Diseño de reparación de Vigas T de Ferrocemento

#### 3.1 Normas y Códigos

En nuestro país, no existe un código específico que nos oriente en el diseño del ferrocemento, sin embargo, se encuentra bastante bibliografía y normas sobre Hormigón Armado, siendo estas aplicables al ferrocemento.

A nivel internacional, existen normas o códigos para el diseño del ferrocemento, como “Guide for the Design, Construction and Repair of Ferrocement”, y el “Building Code Requirements for Reinforced Concrete”, ambos del American Concrete Institute(ACI). También existe para Brasil el “Projeto e Execução de Argamassa Armada”, que corresponde a la Norma Brasileña ABNT 1259. Complementarios a estos códigos, son de gran utilidad las guías de diseño publicadas por el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto(IMCYC), como también las del Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría” de Cuba(ISPJAE).

Para esta memoria, las guías principales para el diseño de las reparaciones, serán las recomendaciones del ACI318-99. Para el cálculo de las solicitaciones, se utilizarán las Normas, NCh 1537.Of. 86 “Diseño Estructural de Edificios, Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”, NCh 432.Of. 72 “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 confección de los morteros 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 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”.

## **3.2 Cargas de Diseño y Combinaciones de Carga**

### **3.2.1 Cargas de Diseño**

Las cargas a considerar dependen directamente de la función de los elementos estructurales y de la ubicación geográfica de dichos elementos.

### **3.2.2 Carga de Viento**

El análisis para la determinación de las presiones de viento que solicitará las estructuras, se realiza utilizando la NCh 432 Of.71 “Cálculo de la Acción del Viento sobre las Construcciones”

### **3.2.3 Carga de Nieve**

Corresponde a las solicitaciones producidas por la acción de la nieve sobre la estructura. Se basa en la NCh 431 Of 77 “Construcción – Sobrecargas de Nieve”.

### **3.2.4 Carga Muerta**

Consiste en el peso de toda la estructura, incluyendo peso propio y sobrecargas de uso permanente. Para esta, se aplica la NCh 1537 Of 86 “Diseño Estructural de Edificios - Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”

### **3.2.5 Sobrecarga de Uso o Carga Viva**

Esta se determina en función y uso de los distintos espacios de dicha edificación. Para el cálculo de este tipo de sobrecarga, es recomendable apoyarse en la NCh 1537 Of.86 “Diseño Estructural de Edificios-Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”.

### **3.2.6 Carga Sísmica**

Consiste en la fuerza que solicita el edificio durante la manifestación del movimiento telúrico. En este tipo de carga , influye la masa del edificio, la zona sísmica de ubicación, y el tipo de suelo sobre el cual se fundará.



## Combinaciones de Carga

Las combinaciones de carga que se usan normalmente en el método de diseño a la rotura son las combinaciones de carga que se contemplan en el código "ACI 318-99", para estructuras de hormigón armado, donde U representa el estado de combinación de carga para diseño último.

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

$$U = 0.75 ( 1.4 D + 1.7 L + 1.7 W )$$

$$U = 0.75 ( 1.4 D + 1.7 L + 1.87 W )$$

$$U = 0.75 ( 1.4 D + 1.7 L - 1.87 W )$$

$$U = 0.9 D + 1.4 3 E$$

$$U = 0.9 D - 1.4 3 E$$

En donde:

D = Peso Propio o Carga Muerta (Dead loads).

L = Sobrecarga de Uso o Carga Viva (Live loads).

W = Cargas de Viento (Wind loads).

E = Cargas Sísmicas (earthquake loads).

### 3.3 Resistencia

Todas las estructuras, incluyendo a todos los elementos estructurales confeccionados con ferrocemento, deben tener como requisito, la capacidad de poder soportar combinaciones de carga, en las cuales estén incluidas la carga muerta ( D ) y las cargas vivas ( L ).

La resistencia de diseño se expresa a través de cargas mayoradas, las cuales se obtienen, multiplicando las cargas por los factores de carga correspondientes. En este caso, se debe considerar como factores de carga a 1,4 y al 1,7, para la carga muerta y la carga viva respectivamente.

$$U = 1,4 * D + 1,7 * L$$

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  $\Phi$ , de reducción de resistencia, para satisfacer la relación general :

$$U \leq \phi * N$$

El diseño de la armadura, debe contar con una serie de requisitos, los que se deben basar en el límite de fluencia que tengan los refuerzos que se utilicen. Es por eso que se recomienda que las barras de acero no se excedan los 560 Mpa, y las mallas el 690 Mpa, porque, aunque parezca alta esta fluencia, se considera producto de la ductilidad del ferrocemento, debido a la gran cantidad de refuerzo que éste posee, la distancia prácticamente nula que tienen de separación los refuerzos, y además el ancho de la grieta producto de su alta superficie específica es muy pequeño.

Los refuerzos de acero que se utilizarán, contarán con los límites de fluencia que corresponden a los más comúnmente vendidos en el país, con el fin de facilitar su adquisición.

### **3.4 Suposiciones para el diseño de Reparación de elementos de ferrocemento sometidos a flexión.**

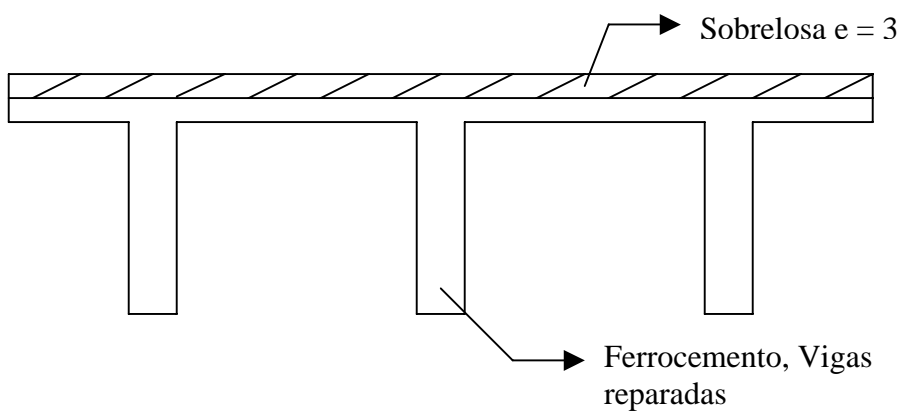
- Las secciones planas se mantienen planas hasta la rotura del elemento.
- Se considera el ferrocemento como material homogéneo.
- No se contempla retracción ni creep en el mortero.
- Se considera una adherencia perfecta entre el hormigón y el acero, implicando que las deformaciones en el acero y el mortero son iguales.
- Los esfuerzos internos permanecen en equilibrio.

### 3.5 Diseño de la Viga

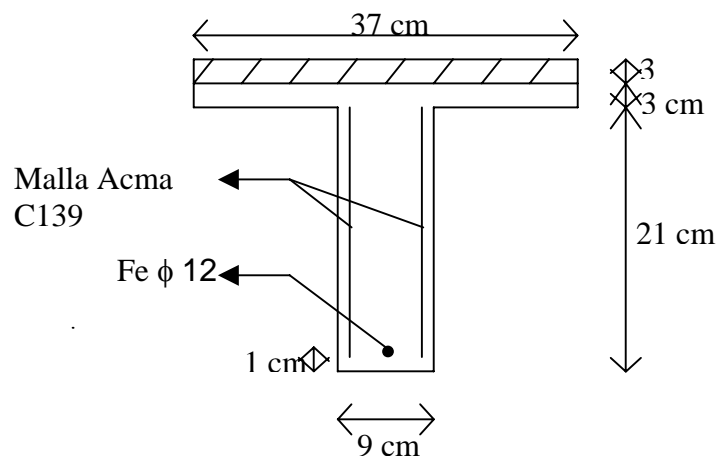
Para el Diseño de la Viga, es necesario determinar las cargas que se quieren soportar y establecer un modelo de sección que sea capaz de resistir dichas cargas. Es así como se debe suponer una sección determinada, establecer su resistencia (Momento Nominal) y la sollicitación (Momento Último).

#### 3.5.1 Cálculo del Momento Nominal

La sección a estudiar corresponde a una conformada por 3 vigas de perfil "T" más una sobrelosa, según se indica en el siguiente diagrama:



Para el cálculo del Momento Nominal ( $M_n$ ) de la estructura, se considera sólo una parte de la sección antes descrita (dada la simetría). De esta forma la sección a analizar queda representada de la siguiente manera:



A continuación se detalla las características de la enfierradura perteneciente a la sección, la cual corresponde a la armadura utilizada para reparación de la viga:

**Armadura Discreta:**

Formada por 1 Fe  $\phi$  12 de A 44 – 28, ubicado al centro inferior de la viga.

$$F_y = 2.800 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$$

**Armadura Distribuida:**

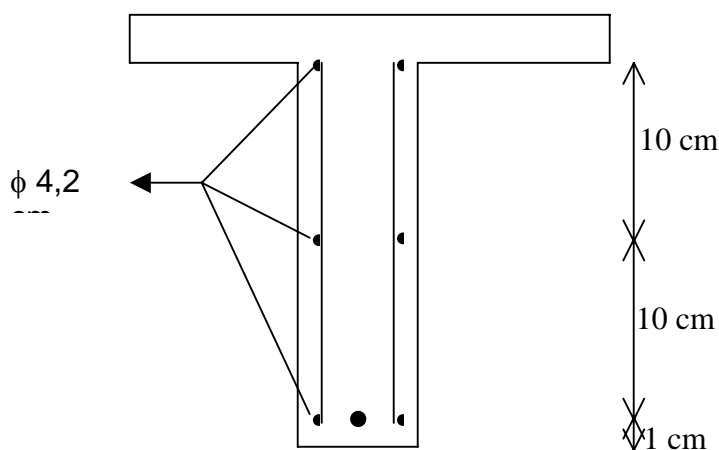
Formada por dos Mallas Acma C 139, ubicadas verticalmente a ambos costados de la viga (confinando la viga original).

Malla Acma C 139:  $\phi$  4,2 @ 10 cm

$$F_y = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$$

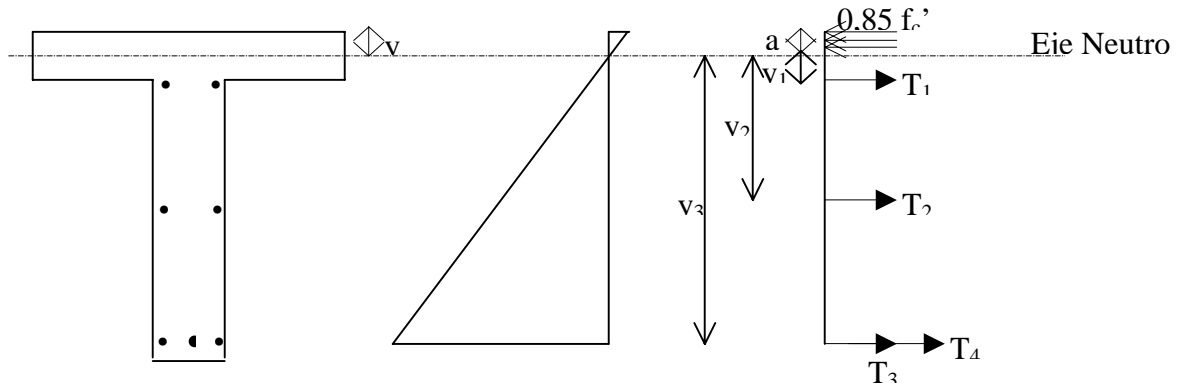
La distribución de la Malla Acma en el ala de la viga puede observarse en la siguiente figura:



A fin de determinar el Momento Nominal del perfil conocer las condiciones en rotura de la sección. Para ello se realizan los siguientes supuestos:

- *Posición del Eje Neutro:* se encuentra en ala de la viga (de modo que el área en compresión es de forma rectangular).
- *Estado del Acero:* Toda la armadura se encuentra en Fluencia.

Con estos supuestos el diagrama de deformaciones y tensiones de la sección en condiciones de Momento Nominal son:



### Cálculo de Tensiones:

Áreas:

$$A_1 = 2 * \pi * r^2 \quad \text{con } r = \phi/2$$

$$A_1 = 2 * \pi * 2,1^2 \quad \longrightarrow \quad A_1 = 0,277 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = A_1 \quad \longrightarrow \quad A_2 = 0,277 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = A_1 \quad \longrightarrow \quad A_3 = 0,277 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 2 * \pi * 6^2 \quad \longrightarrow \quad A_1 = 1,131 \text{ cm}^2$$

Esfuerzos:

$$T = A * f_y \quad (\text{Supuesto N}^\circ 2)$$

$$T_1 = 0,277 \text{ cm}^2 * 5.000 \text{ kg/cm}^2 \quad \longrightarrow \quad T_1 = 1.385,44 \text{ kg}$$

$$T_2 = T_1 \quad \longrightarrow \quad T_2 = 1.385,44 \text{ kg}$$

$$T_3 = T_1 \quad \longrightarrow \quad T_3 = 1.385,44 \text{ kg}$$

$$T_4 = 1,131 \text{ cm}^2 * 2.800 \text{ kg/cm}^2 \quad \longrightarrow \quad T_4 = 3.166,73 \text{ kg}$$

$$C = 0,85 * f_c' * a * b \quad (\text{Supuesto N}^\circ 1)$$

$$C = 0,85 * 250 \text{ kg/cm}^2 * a * 37 \text{ cm} \longrightarrow C = 7.862,5 * a \text{ kg}$$

En Flexión Pura:

$$C = T$$

$$0,85 * f_c' * a * b = \Sigma T_i$$

$$7.862,5 * a = 7.323,06$$

$$a = 0,9313 \text{ cm}$$

Por lo tanto la ubicación del Eje Neutro es:

$y = a / 0,85$  (aproximación para diagrama de tensiones del hormigón)

$$y = 1,1 \text{ cm}$$

#### Verificación de Supuestos:

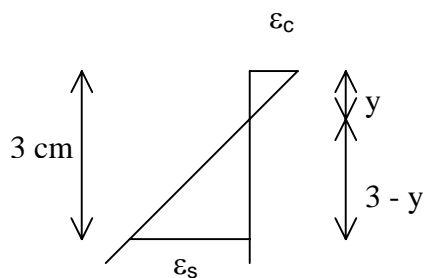
- Posición Eje Neutro:

$$y = 1,1 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad (\text{Eje Neutro se encuentra en el Ala})$$

O.K

- Estado del Acero:

Para verificar que los aceros se encuentran en fluencia, basta con determinar si el acero más cercano al Eje Neutro lo está.



Por semejanza de triángulos:

$$\frac{\underline{\varepsilon}_{s1}}{3 - y} = \frac{\underline{\varepsilon}_c}{y} \quad \text{con } \varepsilon_c = 0,3 \% \text{ (hormigón en rotura)}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,3\% * (3 - 1,1) / 1,1 \longrightarrow \varepsilon_{s1} = 0,518 \%$$

## Deformación de fluencia para Acero Malla Acma

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$\varepsilon_y = 5.000 / 2.100.000 \longrightarrow \varepsilon_y = 0,238 \%$$

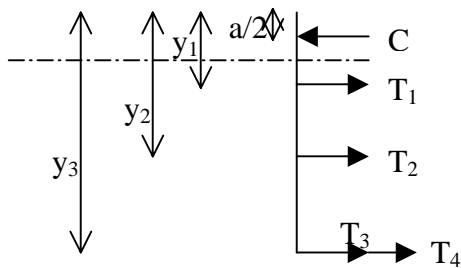
Por lo tanto:

$$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_y \quad (\text{Acero está en fluencia})$$

**O.K**

### Momento Nominal:

Una vez obtenido el Eje Neutro y los esfuerzos en la sección es posible determinar el Momento Nominal en base a:



Con:

$$y_1 = 3 \text{ cm}$$

$$y_2 = 13 \text{ cm}$$

$$y_3 = 23 \text{ cm}$$

Así (haciendo equilibrio en la ubicación de C):

$$M_n = T_1 * (y_1 - a/2) + T_2 * (y_2 - a/2) + T_3 * (y_3 - a/2) + T_4 * (y_4 - a/2)$$

$$\mathbf{M_n = 122.855,08 \text{ kg*cm}}$$

### 3.5.2 Cálculo del Momento Último

Para el Momento Último se utiliza la siguiente combinación de cargas:

$$q_u = 1,4 * q_d + 1,7 * q_l$$



Con:  $q_d$  = Carga permanente de la viga

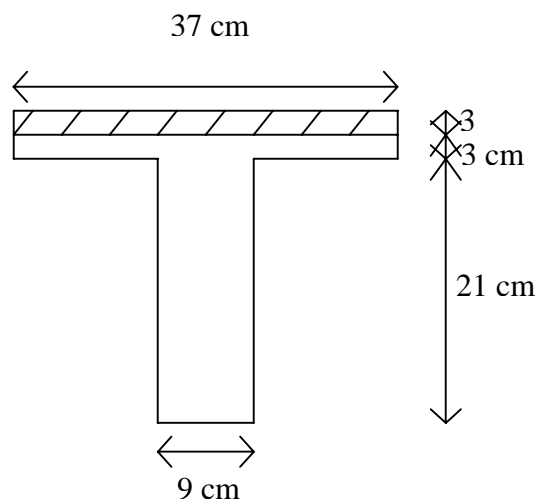
$q_l$  = Sobrecarga de la viga

$$q_d = q_{pp} + q_{sl}$$

Con:  $q_{pp}$  = Carga por Peso Propio

$q_{sl}$  = Carga por Sobrelosa

Para obtener el valor de “ $q_d$ ” se debe recurrir a la forma de la sección:



$$q_{pp} = A_{pp} \cdot \rho_h$$

$$A_{pp} = 37\text{cm} \cdot 3\text{cm} + 21\text{cm} \cdot 9\text{cm} \longrightarrow A_{pp} = 300 \text{ cm}^2$$

$$q_{pp} = 0,3 \text{ m}^2 \cdot 2.500 \text{ kg/m}^3 \longrightarrow q_{pp} = 75 \text{ kg/m}$$

$$q_{sl} = A_{sl} \cdot r_h$$

$$A_{sl} = 37\text{cm} \cdot 3 \text{ cm} \longrightarrow A_{sl} = 111 \text{ cm}^2$$

$$q_{sl} = 0,111 \text{ m}^2 \cdot 2.500 \text{ kg/m}^3 \longrightarrow q_{sl} = 27,75 \text{ kg/m}$$

$$q_d = 102,75 \text{ kg/m}$$

El valor de la sobrecarga “ $q_l$ ” se obtiene según la NCh 1537 “Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”:

$$q_l = q_{sc} \cdot b \quad (q_{sc} = 300 \text{ kg/m}^2, \text{ según NCh 1537})$$

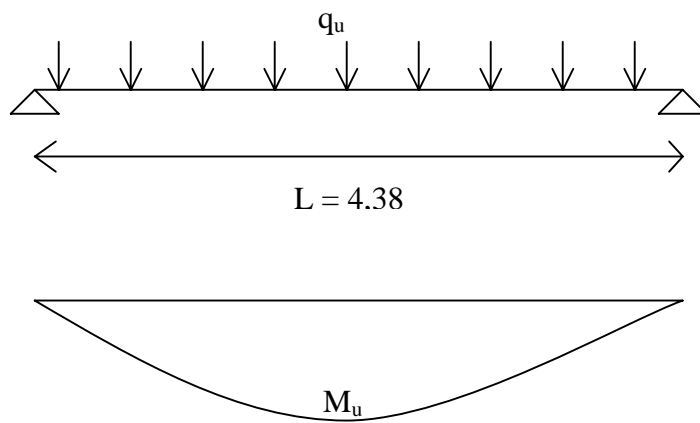
$$q_l = 300 \text{ kg/m}^2 * 37\text{cm} \longrightarrow q_l = 111 \text{ kg/m}$$

Así el valor de  $q_u$  es:

$$q_u = 1,4 * 102,75 \text{ kg/m} + 1,7 * 111 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 332,55 \text{ kg/m}$$

Para calcular el Momento Último es necesario establecer un sistema de apoyo de la viga, el cual se considera simplemente apoyado según la siguiente figura:



$$M_u = q_u * L^2 / 8$$

$$M_u = 332,55 \text{ kg/m} * (4,38 \text{ m})^2 / 8 \longrightarrow M_u = 79.747 \text{ kg*cm}$$

$$\mathbf{M_u = 79.747 \text{ kg*cm}}$$

### 3.5.3 Verificación de Diseño

El criterio de diseño por comportamiento último es:

$$M_u \leq \phi M_n$$

Con:  $\phi = 0,9$  (en el caso de flexión)

$$79.747 \text{ kg*cm} \leq 0,9 * 122.855 \text{ kg*cm}$$

$$79.747 \text{ kg*cm} \leq 110.570 \text{ kg*cm} \quad \mathbf{O.K}$$

**“Diseño es Satisfactorio”**

Además, de acuerdo al capítulo 20 del código ACI 318, se tiene que cumplir que:

$$\Delta_{\text{Máxima}} \leq l_t / (20000 \cdot h)$$

donde:  $l_t$  = luz de la viga = 438 cm

$h$  = espesor de la viga = 9 cms.

$\Delta_{\text{Máxima}}$  = Es la máxima deformación alcanzada, que se obtendrá mas adelante, en el ensayo de la viga.

## Capítulo IV

### 4 Fabricación de Reparación de Vigas con Perfil “T” de Ferrocemento

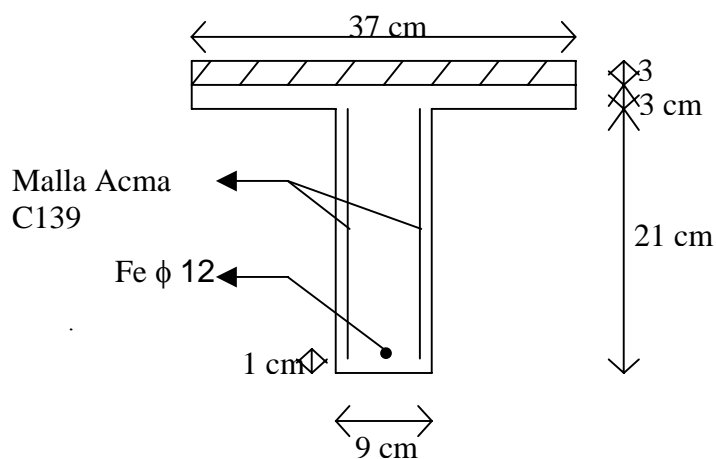
En este capítulo, se describe la fabricación de las reparaciones de las vigas de la tesis “Diseño, Fabricación y Ensayo de Vigas con Perfil “T” de Ferrocemento”, del alumno Rodrigo Carrillo Mora.

#### 4.1 Fabricación del Moldaje

El moldaje será fabricado de madera de terciado, con una separación de 3 cms a ambos lados del alma de la viga y con una altura de 3 cms sobre el ala de dichas vigas, donde irá la sobrelosa.

#### 4.2 Fabricación de la Armadura

La Armadura que se colocará será Malla Acma C139, a ambos lados del alma de la viga, y a 1 cms de la base del alma, irá un fierro  $\phi$  12. En la Sobrelosa, también ira una malla Acma C139. A continuación se representa la figura de la viga:



### **4.3 Vaciado del Mortero**

Para coordinar la entrega del Mortero, se programa previamente con la empresa hormigonera, el día y hora en que será necesitado dicho hormigón. Antes de la llegada del Mixer, verificamos que el equipo de trabajo, cuente con las herramientas necesarias para realizar un buen vaciado, tales como carretillas, palas, vibradores de inmersión, platachos, etc...

A la llegada del Camión Mixer, el operador del equipo, vierte en su interior el aditivo superplastificante, y lo bate enérgicamente por 5 Minutos. Posterior a esto, comienza el vaciado del mortero hacia las carretillas. El cono que se tomó fue de 20 Cms(Fluido). El llenado de los moldajes fue directamente desde las carretillas a las vigas, llenandolas en capas de 15 cms, y vibrándolas hasta que no aparezca ninguna burbuja. Una vez finalizado el proceso de vaciado, se afina la superficie con platachos, y se cubren las vigas con polietileno alveolar, de modo de protegerlas del ambiente, para obtener un mejor fraguado, y curado de dichas vigas.

### **4.4 Desmolde**

El desmolde, se realizó transcurridos 7 días desde el llenado de las vigas. Las uniones de dichos moldes, fueron realizadas con tornillos, por lo que se realizó con bastante rapidez, evitando además daños de las vigas.

Una vez retirados los moldajes, la reparación continuó con su proceso de endurecimiento del mortero, hasta completar la resistencia especificada del cálculo.

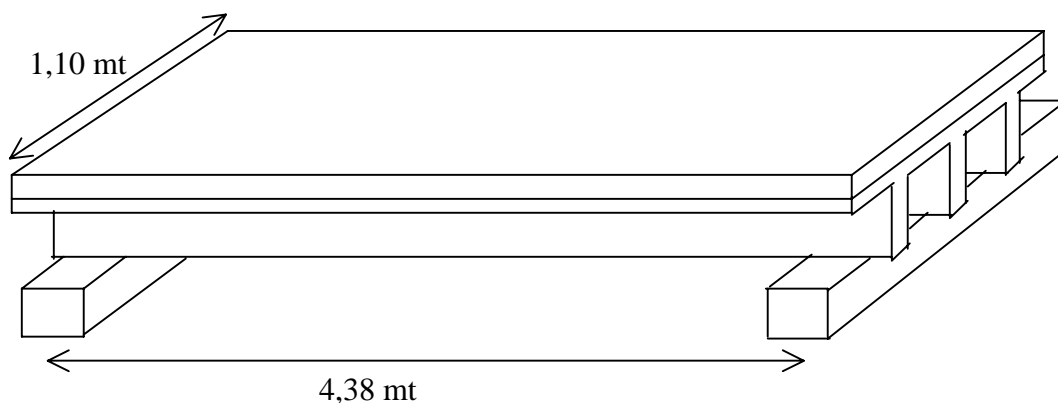
## Capítulo V

### 5 Ensayo de Flexotracción

Con el objetivo de demostrar la utilidad de la reparación de las vigas de ferrocemento “ T ”, se someterán a un ensayo de flexotracción, que se llevará a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, L.E.M.C.O., el cual se regirá por la norma chilena NCh 1038 Of. 77 “Hormigón - Ensayo de Tracción por Flexión”.

El ensayo se realizó aplicando una carga distribuida sobre la losa, cuyas tres vigas, irán simplemente apoyadas en los extremos. El área de aplicación de la carga, esta dada de la siguiente manera:

$$\text{Área: } 4,38 * 1,1 = 4,82 \text{ M}^2.$$



Utilizando una SobreCarga de  $300 \text{ Kg/M}^2$ , tenemos lo siguiente:

$$\text{Carga} = \text{Area} * \text{SobreCarga} = 4,82 \text{ M}^2 * 300 \text{ Kg/M}^2 = 1446 \text{ Kgs.}$$

Para simular una carga distribuida, se utilizarán viguetas de hormigón ensayadas por el laboratorio LEMCO, cuyo peso es de 30 Kgs cada una.

$$\text{Carga} = \text{Area} * \text{SobreCarga} = 4,82 \text{ M}^2 * 300 \text{ Kg/M}^2 = 1446 / 30 = 48 \text{ Viguetas.}$$

Para representar dicha carga es necesario colocar 48 Viguetas en forma distribuida sobre la losa.



Ilustración 5-1: Posición de vigetas sobre losa

Para obtener experimentalmente la medición de la deformación, se procederá a colocar el deformímetro (LC 12 Soiltest), al centro de la losa, el cual medirá las deformaciones que tendrá la losa, al aplicar las cargas de forma distribuida.

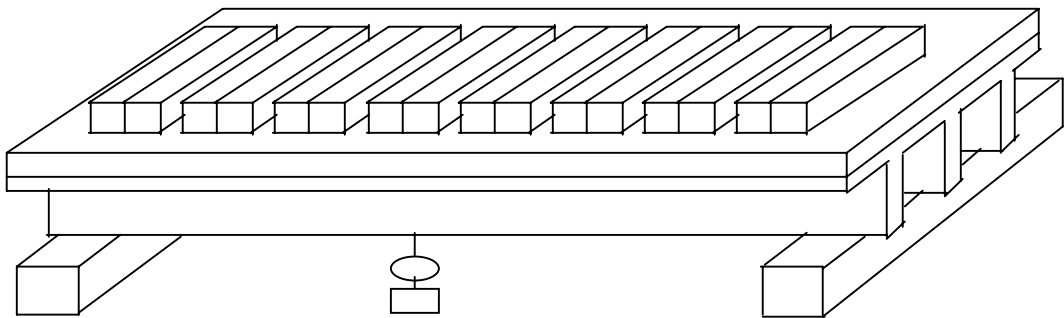


Ilustración 5-2: Ensayo de Losa de Ferrocemento

Con el objeto de tener una medición más asertiva, se realizarán varias mediciones: La primera medición será cada 50 Kg/M<sup>2</sup>(El cual serán 8 Viguetas por capa). Esta medición se realizará hasta 300 Kg/M<sup>2</sup> , y se procederá a descargar cada 100 Kg/M<sup>2</sup>, hasta 0. Posterior a esto se incrementará la carga hasta los 500 Kg/M<sup>2</sup>, cargando cada 100 Kg/M<sup>2</sup>, descargando de la misma manera, hasta llegar a 0. Después, se cargará hasta 700 Kg/M<sup>2</sup>, descargando hasta 0, y la última medición se hará sobre 1000 Kg/M<sup>2</sup>, utilizando toda la carga existente, para analizar la capacidad total de carga de la losa, llegando en lo posible, a la ruptura.



Ilustración 5-3: Losa cargada con viguetas



Ilustración 5-4: Deformímetro (LC 12 Soiltest)





Ilustración 5-5: Losa con incremento de carga

La losa se cargó utilizando todas las viguetas existentes en el laboratorio, y posteriormente se siguió cargando con soleras que se encontraron en el laboratorio.



Ilustración 5-6: Losa con carga máxima de ensayo (Se utilizaron Soleras a ambos lados de la losa, para simular de mejor manera la carga máxima de forma distribuída).

## 5.1 Resultados Ensayo de Losa

### 5.1.1 Primer Ciclo de Carga (0,300,0)

Carga(Kg/M2)	Def.(Lect.Dial)	Def.Pulgadas	Def.cms.
0	0,35	0	0
50	0,45	0,1	0,254
100	0,55	0,2	0,508
150	0,68	0,33	0,8382
200	0,80	0,45	1,143
250	0,91	0,56	1,4224
300	1,04	0,69	1,7526
200	0,81	0,46	1,1684
100	0,60	0,25	0,635
0	0,36	0,01	0,0254

Tabla 5-1: Ciclo de Carga de 0 – 300

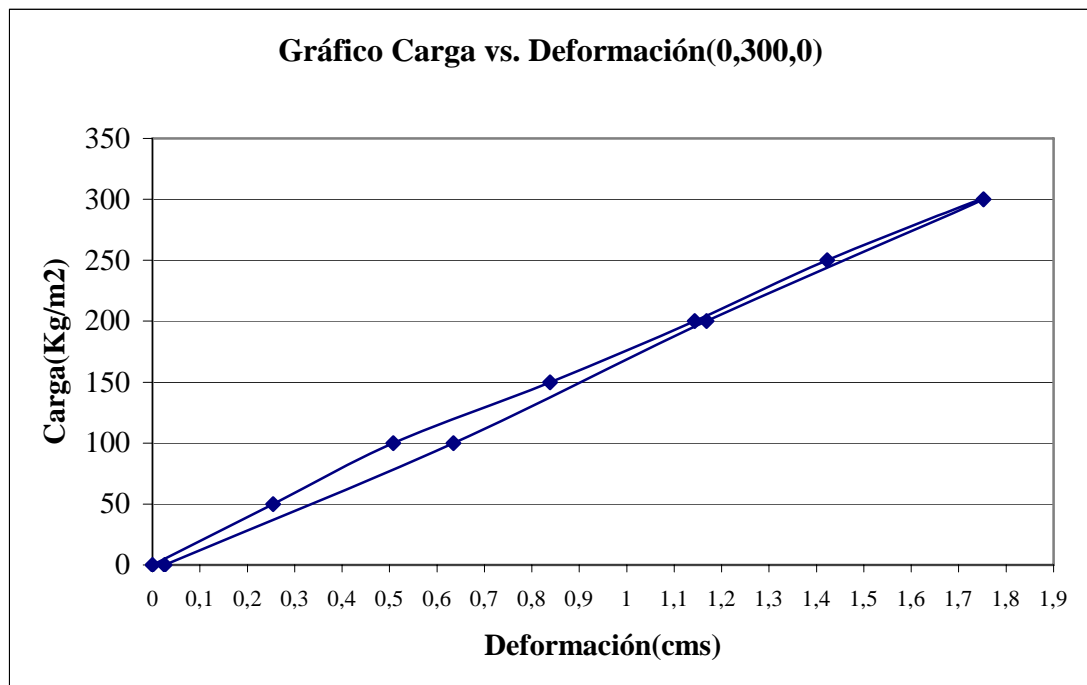


Gráfico 5-1: Ciclo de Carga de 0 – 300

### 5.1.2 Segundo Ciclo de Carga (0,500,0)

Carga(Kg/M2)	Def.(Lect.Dial)	Def.Pulgadas	Def.cms
0	0,36	0,01	0
100	0,58	0,23	0,5842
200	0,80	0,45	1,143
300	1,02	0,67	1,7018
400	1,25	0,90	2,286
500	1,49	1,14	2,8956
400	1,32	0,97	2,4638
300	1,14	0,79	2,0066
200	0,92	0,57	1,4478
100	0,70	0,35	0,889
0	0,45	0,10	0,254

Tabla 5-2: Ciclo de Carga de 0 - 500

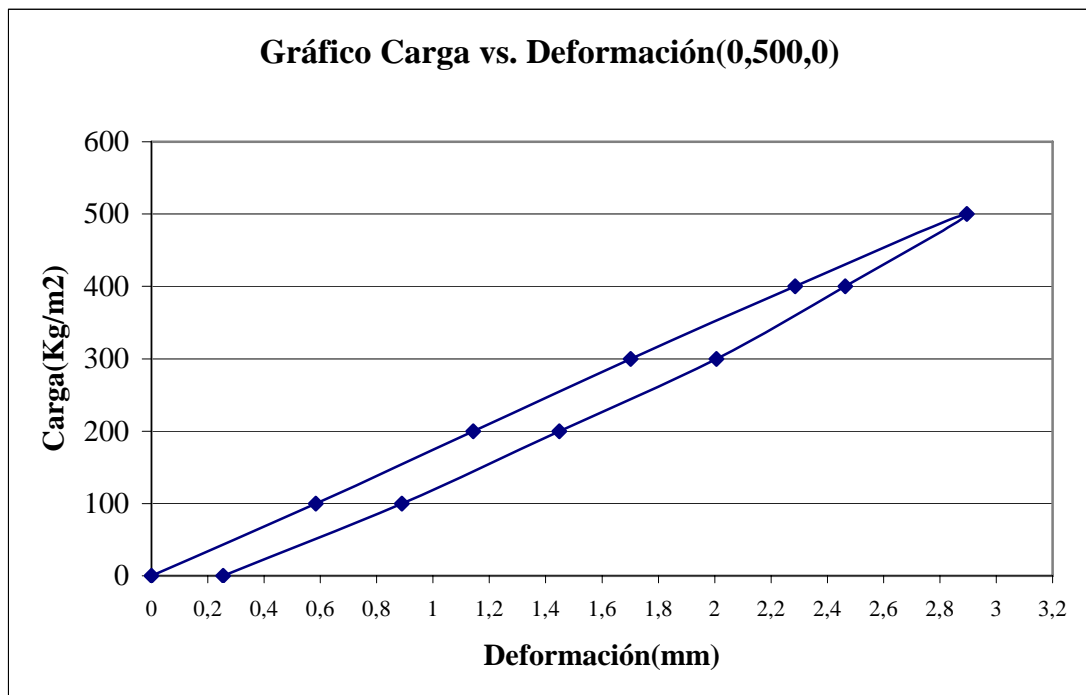


Gráfico 5-2: Ciclo de Carga 0 - 500

### 5.1.3 Tercer Ciclo de Carga (0,700,0)

Carga(Kg/M2)	Def.(Lect.Dial)	Def.Pulgadas	Def.cms
0	9,75	0	0
100	9,96	0,21	0,5334
200	10,20	0,45	1,143
300	10,44	0,69	1,7526
400	10,70	0,95	2,413
500	10,94	1,19	3,0226
600	11,22	1,47	3,7338
700	11,54	1,79	4,5466
600	11,32	1,57	3,9878
500	11,11	1,36	3,4544
400	10,91	1,16	2,9464
300	10,69	0,94	2,3876
200	10,43	0,68	1,7272
100	10,18	0,43	1,0922
0	9,88	0,13	0,3302

Tabla 5-3: Ciclo de Carga 0 – 700

\*: En 600 Kg/M2 se produjo la primera fisura.

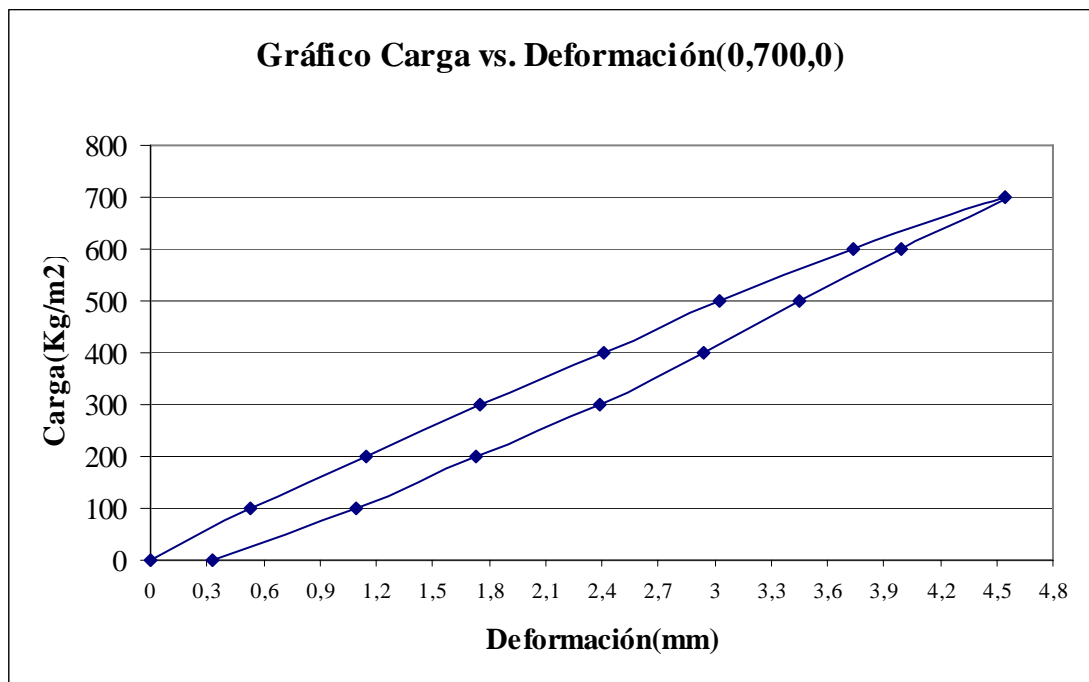


Gráfico 5-3: Ciclo de Carga 0 - 700

#### 5.1.4 Cuarto Ciclo de Carga (0,1100)

Carga(Kg/M <sup>2</sup> )	Def.(Lect.Dial)	Def.Pulgadas	Def.cms
0	9,88	0,13	0,3302
100	9,99	0,24	0,6096
200	10,32	0,57	1,4478
300	10,57	0,82	2,0828
400	10,82	1,07	2,7178
500	11,08	1,33	3,3782
600	11,34	1,59	4,0386
700	11,60	1,85	4,699
800	11,90	2,15	5,461
900	12,29	2,54	6,4516
1000	12,62	2,87	7,2898
1100	12,98	3,23	8,2042

Tabla 5-4: Ciclo de Carga 0 – 1100

En 100 Kg/M<sup>2</sup> presentó la primera grieta.

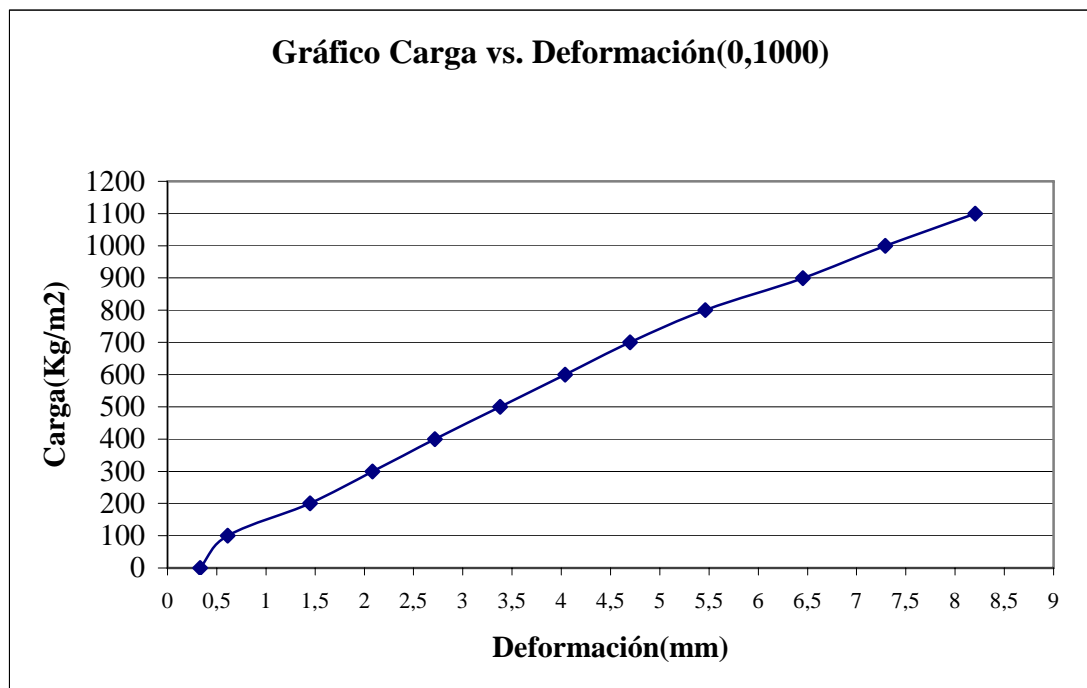


Gráfico 5-4: Ciclo de Carga 0 - 1100

En este último ciclo de carga, no fue posible llegar hasta la ruptura, ya que en el laboratorio, no existía mayor carga para el ensayo.

Por este motivo, y para tener una aproximación real de la capacidad de carga de la losa, se utilizará el método estudiado en la memoria de cálculo “Ensayo no destructivo de Vigas”, de la alumna Silvia Diaz.

### 5.1.5 Tabla de Datos “Ensayo no destructivo de Vigas”

Carga	Deformaciones	Delta defor	Def. a cero	Carga	Carga	Momento	Delta Momento	DM/M
kg/m2	Mm			Kg/cm2	Kg/cm	kg*cm		
0	0,584	0,584	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	-
100	0,864	0,280	0,280	0,010	1,100	26378,55	26378,55	1,00
200	1,702	0,838	1,118	0,020	2,200	52757,10	26378,55	0,50
300	2,337	0,635	1,753	0,030	3,300	79135,65	26378,55	0,33
400	2,972	0,635	2,388	0,040	4,400	105514,20	26378,55	0,25
500	3,632	0,660	3,048	0,050	5,500	131892,75	26378,55	0,20
600	4,293	0,661	3,709	0,060	6,600	158271,30	26378,55	0,17
700	4,953	0,660	4,369	0,070	7,700	184649,85	26378,55	0,14
800	5,715	0,762	5,131	0,080	8,800	211028,40	26378,55	0,13
900	6,706	0,991	6,122	0,090	9,900	237406,95	26378,55	0,11
1000	7,544	0,838	6,960	0,100	11,000	263785,50	26378,55	0,10
1100	8,458	0,914	7,874	0,110	12,100	290164,05	26378,55	0,09

Tabla 5-5: Ensayo no destructivo de vigas

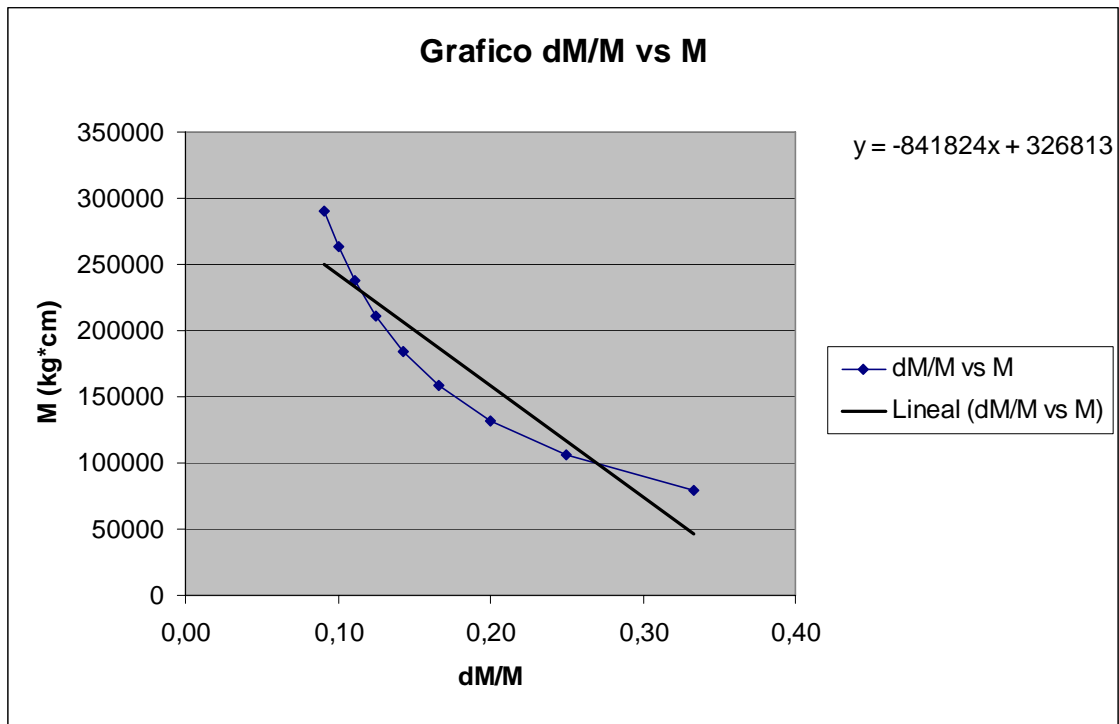


Gráfico 5-5: Estimación momento ultimo

Como: Ancho=110 cms.

Largo = 438 cms.

Momento=326.813 Kgs\*cms

Momento=QL<sup>2</sup>/8

Q = 13,63 Kgs/cms

q = Q/ancho

q = 0,123893Kgs/cms<sup>2</sup>

q = 1238,9 Kgs/cms<sup>2</sup>

Por lo tanto, se puede predecir según este método, que la estructura hubiese resistido una carga de 1238,9 Kgs/cms<sup>2</sup>.

# Capítulo VI

## 6 Conclusiones

1.- De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que es posible reparar vigas de ferrocemento, con el método propuesto en este trabajo.

2.- Las vigas "T" unidas por una sobrelosa, son una buena alternativa como losas prefabricadas para luces de 5 metros, ya que no requieren moldajes ni alzaprimas por ser autosoportantes.

3.- Comparando las **deformaciones** versus **cargas**, en  $\text{Kg/m}^2$  equivalentes, la carga de rotura de las vigas ensayadas por el alumno Rodrigo Carrillo fue de  $1110 \text{ Kg/m}^2$  mientras que en las reparadas, se llegó a  $1100 \text{ Kg/m}^2$ , y todavía se encontraban en el rango elástico, y no presentó daño estructural. Al usar las ecuaciones de la tesista Srta. Silvia Díaz, se puede concluir que la carga de rotura de la losa ensayada es del orden de  $1300 \text{ Kg/m}^2$ .

4.- En la misma comparación anterior, se aprecia que en la fase elástica las deformaciones fueron constantes a iguales incrementos de carga.

5.- Teniendo como referencia la tesis "Ensayo no destructivo de Vigas", de la alumna Silvia Díaz, se puede predecir que la losa , hubiera aceptado como carga última  $1200 \text{ Kg/m}^2$ .

6.- Comparando las **deformaciones** versus **momento** solicitante, se tiene la misma situación del punto 3, la viga del Sr. Carrillo se rompe a  $1120 \text{ Kg}\cdot\text{m}$  , mientras que las vigas reparadas no presentaban indicios de rotura a  $1161 \text{ Kg}\cdot\text{m}$ .

7.- La reparación fue efectiva, no solo recupera los  $200 \text{ kg/m}^2$ , de la viga original, sino se aumenta la carga de trabajo a  $300 \text{ Kg/m}^2$ .

8.- Del gráfico Carga vs. Deformación, se puede calcular el módulo de Elasticidad, de la siguiente ecuación:

$$\Delta = (5ql^4)/(384EI)$$

9.- El módulo de elasticidad obtenido por las vigas reparadas resultó menor que el módulo de las vigas originales, esto se debe a que, en las vigas reparadas parte de sus secciones no aportan resistencia, ya que se encontraban totalmente agrietadas.

10.- La rigidez  $EI$  de las vigas originales es de solo  $66.428 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$  y las reparadas es de  $138.187 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ , es de 2,6 veces mayor debido a su gran inercia.

11.- La primera grieta se produce a los  $700 \text{ Kg}/\text{m}^2$ , y la viga se sigue comportando en forma elástica.

12.- Si se analiza el último ciclo de carga ( $0-1100 \text{ Kg}/\text{m}^2$ ), se puede comprobar que hay proporcionalidad entre el incremento de carga y deformación, hasta los  $700 \text{ Kg}/\text{m}^2$ , posterior a esta carga se ingresa a la fase plástica, que la deformación a cada incremento de carga aumenta en un 50 por ciento.

13.- Para simular la carga distribuída aplicada sobre la losa, se utilizaron viguetas de hormigón ensayadas, ya que no se contaba con otra forma de carga en el laboratorio. A pesar de lo sencillo del método de carga utilizado, se pudo experimentar de forma satisfactoria las reparaciones efectuadas, ya que hasta los  $700 \text{ Kg}/\text{m}^2$  se utilizaron viguetas en forma distribuida, y posterior a esta carga, se llegó a  $1100 \text{ Kg}/\text{m}^2$  utilizando soleras, como se indica en la ilustración 5-6.

14.- Desgraciadamente, en el laboratorio no existía mayor carga para hacer colapsar la estructura, por lo que se cargó solamente hasta  $1100 \text{ Kg}/\text{m}^2$ .



## Capítulo VII

### 7 Referencias Bibliográficas

Nilson ,Arthur H. 1999

Diseño de estructuras de concreto

Profesor emeritus, structural engineering, cornell university

Edición 1999

Comisión de Diseño Estructural en Hormigón Armado y Albañilerías.

Código de Diseño de Hormigón Armado- basado en el ACI318-99

Ridell c .Rafael. ; Hidalgo. Pedro

Diseño Estructural

Segunda Edición

Prof. Dc.ing.Wainshtok, Hugo. ; 1998

Ferrocemento – Diseño y Construcción.

3° edición. Editorial Offset Abad Cía. Ltda.

Olvera, Alfonso.1991

Prof. Dc.ing.Wainshtok, Hugo. ;

Diseño y Revisión de elementos de ferrocemento sometidos a flexión.

Cecat.

Paul, B y Pama, R. 1981

Ferrocemento.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, a.c.

Edición 1992

Olvera, Alfonso

El Ferrocemento y sus aplicaciones

Instituto Politécnico Nacional

México 1994

**Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón**

Manual del Mortero

**Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón**

Manual del Hormigón

Baeza, Gonzalo. 1993

Diseño y construcción de elementos en ferrocemento  
tesis U.A.C H.

**Direcciones internet**

Http:// www.ferrocement.com

Http://www.gerdauaza.cl

Http://[www.acma.cl](http://www.acma.cl)

[Http://www.premix.cl](http://www.premix.cl)

## Índice de Tablas

Tabla 2-1: Dosificación de Mortero .....	20
Tabla 2-2: Resultados de Ensayo Probetas.....	21
Tabla 5-1: Ciclo de Carga de 0 – 300.....	47
Tabla 5-2: Ciclo de Carga de 0 - 500.....	48
Tabla 5-3: Ciclo de Carga 0 – 700.....	49
Tabla 5-4: Ciclo de Carga 0 – 1100.....	50
Tabla 5-5: Ensayo no destructivo de vigas.....	51

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 5-1: Posicion de vigetas sobre losa.....	44
Ilustración 5-2: Ensayo de Losa de Ferrocemento .....	44
Ilustración 5-3: Losa cargada con viguetas .....	45
Ilustración 5-4: Deformímetro.....	45
Ilustración 5-5: Losa con incremento de carga.....	46
Ilustración 5-6: Losa con carga máxima de ensayo.....	46

## Índice de Gráficos

Gráfico 5-1: Ciclo de Carga de 0 – 300.....	47
Gráfico 5-2: Ciclo de Carga 0 - 500.....	48
Gráfico 5-3: Ciclo de Carga 0 - 700.....	49
Gráfico 5-4: Ciclo de Carga 0 - 1100.....	50
Gráfico 5-5: Estimación momento ultimo.....	51