



Universidad Austral de Chile

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

“DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE UNA LOSA DE FERROCEMENTO PERFIL TT”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Civil en Obras Civiles.

Profesor Patrocinante:
Sr. Hernán Arnés Valencia.
Constructor Civil.
Ingeniero Civil.

DENNYS RYAN URIBE MOLINA
VALDIVIA – CHILE
2007

Resumen

La presente memoria consiste en el diseño, fabricación y ensayo de una losa de ferrocemento perfil “ π ” de 4.8 mt de luz.

El objetivo principal es probar la factibilidad de desarrollar este tipo de losas y entregar una solución distinta para construcciones pequeñas.

Con lo cual se entregan todas las herramientas para diseñar y construir. Se detallan los ensayos practicados en las losas y finalmente una comparación con otra losa de TENSOCRET.

Summary

The following memo is about design, factoring and testing of a flagstone of ferrocemento profile “ π ” of 4.8 meters of light.

The main goal is to prove the fact of develop this kind of flagstone and to give a different answer to small building.

With this we give knowledge to design and build. We detail the test mako on the flagstone and finally a comparation with an other flagstone of TENSOCRET.

INDICE

CAPITULO I	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.-	Introducción	1
1.1.1.-	Generalidades de los prefabricados	1
1.2.-	Presentación del problema	2
1.3.-	Objetivos	3
1.3.1.-	Objetivo general	3
1.3.2.-	Objetivo específico	3
1.4.-	Metodología de trabajo	4
CAPITULO II	ANALISIS DE NORMATIVAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL FERROCEMENTO	5
2.1.-	Definición del ferrocemento	5
2.2.-	Descripción de los materiales del ferrocemento	6
2.2.1.-	Armadura	6
2.2.1.1.-	Armadura difusa	6
2.2.1.2.-	Armadura discreta	7
2.2.2.-	El mortero	10
2.2.2.1.-	Cemento	11
2.2.2.2.-	Árido	11
2.2.2.3.-	Agua	12
2.2.2.4.-	Aditivos	12
2.3.-	Propiedades del ferrocemento	13
2.3.1.-	Resistencia a la compresión	14
2.3.2.-	Resistencia a la tracción	14
2.3.3.-	Resistencia al impacto	16
2.3.4.-	Resistencia a la flexión	16
2.4.-	Normativas utilizadas	18

CAPITULO III DISEÑO DE LOSA TT DE FERROCEMENTO 19

3.1.- Carga de diseño	19
3.1.1.- Carga muerta o peso propio	19
3.1.1.1.- Calculo de peso propio losa de ferrocemento	20
3.1.1.2.- Calculo del peso de la sobrelosa a futuro	20
3.1.2.- Carga viva o sobrecarga de uso	21
3.2.- Estado de carga	21
3.2.1.- Combinación de carga	21
3.2.2.- Requisitos de resistencia de la losa	22
3.3.- Suposiciones de diseño de losa de ferrocemento	22
3.4.- Diseño de losa de ferrocemento	23
3.4.1.- Método de diseño de elemento de ferrocemento sometido a flexión	23
3.4.1.1.- Calculo del largo a compresión	25
3.4.2.- Calculo del momento nominal	26
3.4.3.- Calculo del momento último	27

CAPITULO IV FABRICACIÓN DE LOSA TT DE FERROCEMENTO 30

4.1.- Fabricación del moldaje	30
4.2.- Elaboración de la armadura	32
4.3.- Vaciado del mortero	34
4.4.- Desmolde de la losa	36

CAPITULO V ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN 37

5.1.- Generalidades del ensayo	37
5.1.1.- Diagrama de momento y corte	37
5.2.- Materiales a utilizar en el ensayo	39
5.3.- Calculo estimativo de la carga “P”	41
5.4.- Deformación máxima admisible	42
5.5.- Modulo de elasticidad teórico	42

CAPITULO VI RESUMEN DE RESULTADOS 44

6.1.- Tablas de resultados y gráficos	44
6.1.1.- Losa N° 1	44
6.1.2.- Losa N° 2	48
6.1.3.- Losa N° 3	52
6.2.- Modulo de elasticidad experimental	56
6.3.- Comparación deformación admisible y de trabajo	58
6.4.- Análisis de resultados	58
6.5.- Comparación con loseta doble T de Tensocret	59

CAPITULO VII CONCLUSIONES 60

BIBLIOGRAFIA 62

ANEXO 1 ANALISIS DE COSTOS

ANEXO 2 ENSAYO PROBETAS RILLEM

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

Hoy en día, uno de los aspectos fundamentales y primordiales que se deben tener en cuenta a la hora de utilizar un material de construcción son la versatilidad, costo resistencia, maniobrabilidad, etc.

Debido a esto y considerando que a medida que pasa el tiempo se van creando materiales estructurales con una mayor tecnología y costo a nivel de la fabricación. Es primordial realizar y construir materiales mas sencillos, de buena calidad, buena maniobrabilidad, bajos costos de materiales, casi innecesaria mano de obra especializada y los mas importante que cumplan con las exigencias estructurales de los elementos a diseñar. Para responder a las exigencias propuesta desarrollaremos en esta tesis losas prefabricadas de ferrocemento.

1.1.1.- GENERALIDADES DE LOS PREFABRICADOS.

La prefabricación se debe entender en estos días simplemente como la “industrialización de la construcción”, que significa nada mas que, la aplicación de las técnicas de la construcción en la construcción en serie de elementos estructurales con altos estándares de calidad, mejores terminaciones y por el hecho de la fabricación en serie se rebajan notablemente los precios del producto.

Algunas de las propiedades de los prefabricados podemos describirlas a continuación:

TECNICAS.

Los prefabricados tienen la posibilidad de alcanzar grandes luces y soportar

grandes cargas, en la fabricación de edificios industriales y comerciales.

Facilidad de construcción en zonas de difícil acceso. Mayor fiabilidad, derivado de los rigurosos procesos de control de calidad de los materiales y en el proceso de la fabricación.

ECONOMICO.

Se produce una disminución en el costo final de los elementos por la considerable reducción de los plazos de construcción, al llegar las piezas al lugar de utilización ya terminadas y preparadas para entrar en carga tan pronto como quede colocada en su emplazamiento. Esto permite una independencia a la vez de la obra con respecto al estado climático y elimina casi en su totalidad los retrasos por el hormigonado in situ.

1.2.- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.

Con todos estos puntos a favor de los prefabricados nos evocaremos exclusivamente al desarrollo de una losa con un perfil determinado, que se fabrica comúnmente por empresas relacionadas con prefabricados, esta empresa se llama TENSOCRET y la losa es prefabricada de hormigón armado.

De lo anteriormente expresado y mencionado surge la necesidad en esta tesis de innovar en tecnologías de los materiales que comúnmente se ocupan para el desarrollo de los prefabricados por las empresas dedicadas a este tipo de elementos, sin variar el perfil de la losa que produce TENSOCRET se desarrollara una alternativa innovadora en el material utilizado, esta alternativa en el material se llama ferrocemento.

Es por esto que nos resulta primordial pautas de diseño, fabricación y ensayo de elementos estructurales de ferrocemento. A fin de estos requerimientos se desarrollara esta investigación de tesis.

1.3.- OBJETIVOS.

1.3.1.- OBJETIVO GENERAL.

Estudiar la factibilidad de prefabricar losas con perfil “ π ” de ferrocemento.

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Diseñar una losa con perfil “ π ”, considerando las cargas permanentes y sobrecarga de uso normales de acuerdo a lo dispuesto en la Norma Chilena.

Fabricar y ensayar losas de perfil “ π ”, sometiéndolas a ensayos de flexotracción.

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

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

1.4.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Primeramente en esta tesis nos evocaremos a realizar el diseño de la losa de ferrocemento, en el cual definiremos el tipo de acero a tracción y el largo de la losa, una vez realizado este punto procederemos a la fabricación del moldaje.

Para la fabricación del moldaje ocuparemos planchas de terciado estructural que son convenientes por su resistencia y fácil manipulación para realizar los cortes correspondientes que les haremos a las planchas, además de las planchas reforzaremos los moldajes con piezas de pino insigne de 2"x2" para evitar deformaciones en el moldaje al momento del vaciado del mortero.

Una vez realizado este trabajo nos dispondremos a introducir la enfierradura que estará compuesto por una malla ACMA del tipo C-139, recubierta de malla Hexagonal $\frac{3}{4}$ " y con refuerzos a tracción de fierro estriado de diámetro 12mm., posteriormente se explicará más detalladamente la disposición y ubicación de los distintos elementos del refuerzo.

Ya instalada la enfierradura nos dispondremos al vaciado del mortero que será entregado por la empresa Lafarge Hormigones proveniente de la sucursal Valdivia y trasladado por un camión mixer de la misma compañía, este mortero cumplirá con las disposiciones de resistencia y fluidez que fueron fijadas anteriormente.

Para el curado y reposo se cubrirán las losas con polietileno, el cual proporcionará una humedad constante para el fraguado de la losa y además la protegerá del ambiente externo ya que se ubicarán en el exterior del laboratorio.

Después de realizado el periodo de fraguado ensayaremos la losa a flexotracción de acuerdo a lo dispuesto en la Norma Chilena Nch 1038 of 77 "Ensayo de tracción por flexión".

CAPITULO II

ANALISIS DE NORMATIVAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL FERROCEMENTO.

2.1.- DEFINICION DEL FERROCEMENTO.

Aproximadamente por el año 1991 el Comité 549 del American Concrete Institute (ACI) lo define de la siguiente manera: “el Ferrocemento es un tipo de construcción de concreto reforzado con espesores delgados, en el cual, generalmente, el cemento hidráulico esta reforzado con capas de malla continua de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser de material metálico o de otros materiales adecuados. ¹

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.

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 la deformación dependa de la subdivisión y distribución del refuerzo a través de la masa del mortero. ²

2.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL FERROCEMENTO.

2.2.1.- ARMADURA.

Existen dos grupos bastante definidos en lo que se refiere a las armaduras que se ocupan en el ferrocemento, a continuación definiremos y describiremos estos grupos:

2.2.1.1.- ARMADURA DIFUSA.

Consiste en alambres delgados, el requisito principal es que sea de fácil manejo y, si fuera necesario, lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas. La función de la malla de alambre es, en primer lugar, actuar como marco para dar forma y para sostener el mortero en estado fresco. Cuando endurece el mortero, la función de la varilla es absorber los esfuerzos de tensión sobre la estructura, que el mortero por si solo no podría soportar. 1

MALLA DE ALAMBRE HEXAGONAL.

Esta es la malla mas popular, la mas económica y de manejo mas fácil. Se le conoce comúnmente como malla de gallinero y se fabrica con alambre estirado en frío, que generalmente se entreteje en patrones hexagonales. La malla de alambre utilizada en el ferrocemento por lo general tiene un diámetro de 0.05 a 0.01 cm., y las aberturas de la malla varían de 1 a 2.5 cm. 1

En el caso de este ensayo se ocupara una malla hexagonal de las siguientes características descritas en la tabla 2.1:

Tipo	Abertura Nom. Pulg.	Peso Kg x m² (aprox.)	Diámetro mm	Carga Ruptura Kg.
$\frac{3}{4} \times 22$	$\frac{3}{4}$	0,36	0,67	11

Tabla 2.1: Característica malla hexagonal. 7

2.2.1.2.- ARMADURA DISCRETA.

En general en la armadura discreta se distinguen dos tipos, estas son la armadura de esqueleto y la armadura suplementaria.

En la losa que en esta tesis se diseñara mas adelante se utilizaran ambas armaduras. Como el nombre las describe la armadura de esqueleto se utiliza para dar una mayor resistencia y para sostener la armadura difusa, en tanto la armadura suplementaria es netamente para entregarle al ferrocemento una mayor resistencia ya que esta armadura consta de barras de acero de mayor diámetro o alambrones.

ARMADURA DE ESQUELETO.

Están formadas principalmente por tela de malla de alambre rectilíneo de acero dispuesto de manera que forman mallas cuadradas o rectangulares soldadas entre si en los puntos de contacto. Por ser mas rígida, La tela de malla soldada presenta ventajas de montaje en superficies planas, tornándose mas difícil su manejo en superficies curvas. 2

La armadura de esqueleto que se ocupara en esta tesis será la malla ACMA C-139, que continuación la detallaremos:

Esta malla es fabricada con acero AT56-50H de alta resistencia.

Nomenclatura del acero AT56-50H:

A : Acero

- T : Trefilado/Laminado
- 56 : 5.600 kg/cm² (limite de ruptura)
- 50 : 5.000 kg/cm² (limite de fluencia)
- H : Hormigón.

La ficha técnica de la malla soldada ACMA® de Stock sin economía de borde (EB). Tipo “C”: abertura cuadrada.

MALLA ACMA C-139

Tipo de Malla	Distancia Barras		Diámetro Barras		Sección de Acero		Peso Malla
	Longit. mm	Transv. mm	Longit mm	Transv. mm	Longit. cm ² /m	Transv. cm ² /m	Kg
C139	100	100	4,20	4,20	1,39	1,39	28,34

Tabla 2.2: Detalle características malla acma. 8

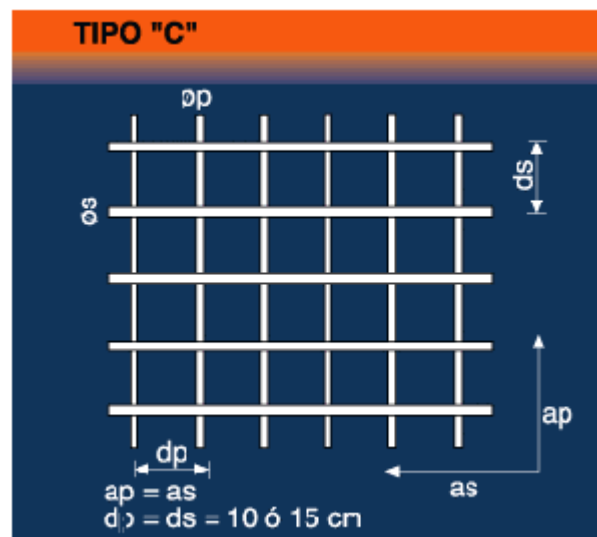


Figura 2.1 Detalle de malla acma C-139.

ARMADURA SUPLEMENTARIA.

El acero del armazón, como su nombre lo indica, se emplea generalmente para hacer el armazón de la estructura sobre la cual se colocan las capas de malla. 1. Esta conformado por alambrones o barras con diámetros entre 3 y 10mm. Estas armaduras se espacian tanto como sea posible, hasta 30 cm cuando no realizan una función estructural y se usan solamente como espaciadores entre las telas de mallas como refuerzo principal.

Para reforzar las losas de esta tesis usaremos un solo tipo de barra que la describiremos a continuación:

El diámetro que se ocupara será de 12mm. Con una calidad del acero de A44-28H.

Estas barras son productos de sección circular con nervios longitudinales y nervios inclinados respecto a su eje, en conformidad a los requisitos de la Norma Chilena NCh 204 of. 77, como se muestra en la figura 2.2.

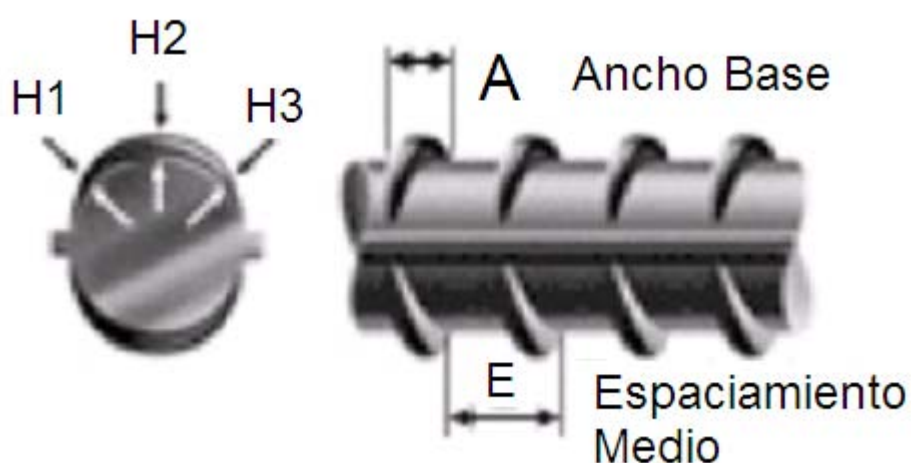


Figura 2.2 Detalle sección barras de acero.

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

Calidades A44 - 28H

Características Nominales				Dimensiones de los resaltes		
Diámetro e	Masa	Sección	Perímetro	Separación media máxima, E	Altura media mínima, H	Ancho base máxima, A
mm	kg/m	cm ²	cm	mm	mm	mm
12	0,888	1,13	3,77	8,4	0,48	3,0

Tabla 2.3 Características barra de acero. Gerdau aza.

La nomenclatura de las barras de acero A44-28H son las siguientes:

- A : Acero
- 44 : 440 Mpa. (limite ruptura)
- 28 : 280 Mpa. (limite fluencia)
- H : Uso en hormigón.

El diámetro de las barras para hormigón, de acuerdo a la Norma Chilena Nch 204 of 77 esta dada por la relación:

$$e = 12,74\sqrt{M}$$

Donde: e = diámetro de la barra en mm

M = masa de la barra en Kg/m.

2.2.2.- El Mortero.

El mortero utilizado normalmente en el ferrocemento es una mezcla de cemento hidráulico y arena al que eventualmente se pueden añadir aditivos que mejoran 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 preparan y los factores ambientales.

Hay una gran cantidad de variables que pueden afectar las propiedades 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 mas importante factor de todos, la consistencia de la mezcla que debe permanecer uniforme, compacta y sin 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 solo los mecánicos que deforman, rompen y desgastan si no también los físico-químicos que provocan sobre todo, la corrosión de las armaduras, desempeñando el mortero un papel importante. La resistencia del mortero es inversamente proporcional a su relación agua/cemento, mientras la labor habilidad es directamente proporcional a la cantidad de agua usada. 2

2.2.2.1.- CEMENTO.

En un sentido amplio el cemento puede describirse como un material con propiedades de adherencia y cohesión que lo hacen capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta.

El material adhesivo o matriz en el ferrocemento lleva el nombre de mortero. Normalmente esta hecho de cemento Portland y arena común de sílice. En presencia del agua, el cemento reacciona para formar un gel cementante que con el tiempo produce una masa firme y dura, es decir, la pasta de cemento endurecido. Esta pasta, en su estado fresco, aglutina las partículas del agregado que da como resultado un material denso, quebradizo. La calidad del mortero se rige por el tipo y calidad de los materiales que lo constituyen, la proporción en que están combinados, sus condiciones de preparación y factores ambientales.

Par nuestros efectos el mortero donado por la empresa Lafarge Hormigones era del tipo Portland puzolánico, de fraguado rápido.

Este cemento se obtiene al moler juntas o combinar mezclas de cemento y puzolana. La puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice en una forma reactiva y puede representar hasta el 40% de la cantidad total de material del cemento. 1

2.2.2.2.- ARIDO.

Es el término dado al material inerte disperso dentro de la pasta de cemento. Este material inerte ocupa del 60 al 70% del volumen del mortero. Por lo tanto, los agregados utilizados para la producción de mortero de alta calidad, para estructuras de ferrocemento, deben ser fuertes, impermeables y capaces de producir una mezcla suficientemente trabajable con una relación agua/cemento mínima para lograr la penetración apropiada en la malla. El agregado normalmente empleado es arena natural, con un tamaño máximo de aproximadamente 5 mm, aunque dependiendo del espesor del elemento y la densidad del a armadura puede ser necesario limitar el diámetro a valores inferiores a 4 mm.

2.2.2.3.- AGUA.

La calidad del agua para mezclar el mortero es de vital importancia para el ferrocemento endurecido resultante. Las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento y afectar adversamente la resistencia o provocar manchado en la superficie, y asimismo provocar la corrosión del refuerzo. El agua puede contener impurezas tales como barro, lama, ácidos, sales solubles, materiales vegetales en descomposición y muchas otras sustancias orgánicas que probablemente se encuentren en agua potable de buena calidad. Deben tomarse las precauciones necesarias antes e usar agua que contenga estas impurezas. En ningún caso debe usarse agua de mar para mezclar el mortero, ya que aumentara el riesgo de corrosión de la malla y del refuerzo. Generalmente el agua de los servicios públicos esta considerada como satisfactoria y no requiere ningún tratamiento adicional en caso contrario se debe cumplir con las normas chilenas como la NCh 1498 “Hormigón - Agua de Amasado - Requisitos”.¹

2.2.2.4.- ADITIVOS.

Los aditivos esencialmente se utilizan para disminuir el gasto de cemento, mejorar las características físico-mecánicas y acelerar el endurecimiento de los morteros, tales aditivos pueden ser minerales y químicos que se incorporan al mortero fresco.

Como aditivos minerales que disminuyen el gasto de cemento, es posible utilizar polvo de ceniza, que proviene de la combustión del carbón de piedra, escorias granuladas desprendidas de un alto horno, arena cuarzosa molida y polvo de piedra.

De acuerdo a las características que se le introducen al mortero podemos dividir los aditivos químicos en:

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 consecuencia mejoría en la resistencia mecánica, impermeabilidad y durabilidad del mortero.

Existen 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 la resistencia desde las primeras edades.

Aceleradores de fraguado:

Son aquellos que aceleran la reacción del fraguado del cemento y retardadores son los que retardan la reacción de hidratación. Su uso depende de las condiciones particulares de la construcción y del medio ambiente. Deben utilizarse con cuidado, pues pueden dar lugar a secuelas desfavorables.

Incorporadores de aire:

Estos promueven la formación de un número extremadamente elevado de minúsculas burbujas de aire en el mortero y le confiere mejor laborabilidad, impermeabilidad y resistencia al intemperismo.

Expansores:

Son aquellos empleados para provocar una expansión controlada de la pasta de cemento con el objetivo de compensar en general el efecto de retracción, por ejemplo, en juntas fundidas en el lugar.

Impermeabilizantes:

Son aditivos utilizados para disminuir la permeabilidad del mortero reduciendo los vacíos. Contiene agentes hidrófugos.

Existen otros muchos tipos de aditivos que pueden ser usados en el ferrocemento. En todo los casos deben de cumplir con las normas vigentes, de no ser así su posible uso estará basado en datos de ensayo sobre el mortero a utilizar. 2

2.3.- PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO.

Muchas de las propiedades del ferrocemento se derivan de contener una relativamente alta cantidad de refuerzo constituido por telas de mallas de alambre de pequeño diámetro y distribuida en toda la sección. Entre estas propiedades su gran elasticidad y resistencia al agrietamiento es una de las mas importantes, lo que permite considerarlo como un material homogéneo y casi elástico para determinados regimenes de carga.

A continuación se describirán otras propiedades asociadas al ferrocemento.

2.3.1.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Los resultados experimentales indican que la resistencia del ferrocemento en compresión esta dada fundamentalmente por el mortero el proporción directa al área de su sección transversal. Las variaciones de la superficie específica y el factor de refuerzo no ejercen influencia apreciable en la resistencia a compresión de ferrocemento.

Sin embargo, el tipo, orientación y colocación del refuerzo puede tener alguna influencia con la resistencia a la compresión. El comité 549 de la ACI citando a Johnston y Pama refiere que columnas reforzadas periféricamente con telas de mallas soldadas son mucho mas resistente que las reforzadas con mallas de metal expandido, así como si el refuerzo de malla es colocado solo en un plano paralelo a la carga, ningún incremento de resistencia se obtiene y concluye que la única forma de refuerzo que asegura un incremento notable en la resistencia a compresión es la tela de malla cuadrada colocada formando una caja de cilindro, lo que restringe la matriz y la hace trabajar sometida a esfuerzos triaxiales, lo que significa mayor resistencia.

Bezukladov, Paul y Pama sugieren tomar como resistencia ultima a compresión del ferrocemento, el valor de la resistencia del mortero afectado por un coeficiente igual a 0,85. Si se aplica el criterio de las tensiones permisibles Naaman sugiere un límite de $0,45 R'_{b}$ para las tensiones de compresión y Petroni sugiere valores máximos entre 12 y 14 MPa, siendo las dos recomendaciones casi equivalentes en la práctica.

2.3.2.- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Tanto el hormigón como el mortero son considerados materiales con poca resistencia efectiva a la tracción, normalmente la resistencia a la tracción de estos es de aproximadamente 1/10 de la resistencia a compresión.

El ferrocemento tiene una mayor resistencia a la tracción debido a su relativamente alto contenido de acero y a la gran dispersión de este. Cuando un elemento de ferrocemento es

sometido a esfuerzos de tracción, tres estados se pueden observar en el diagrama tensión-deformación.

1. Estado elástico.

La curva de tensión-deformación es prácticamente lineal, no se observan grietas, el material es totalmente impermeable. Walkus limita este estado hasta una deformación $e = 200 \times 10^{-6}$ y ancho de fisuras hasta 20m. El final de la primera fase y el inicio de la segunda está determinado por la deflexión más o menos acentuada, en dependencia de la cantidad y tipo de refuerzo del diagrama tensión-deformación. Algunos autores localizan en esa transición la formación de la primera fisura microscópica convencional, no siempre visible a simple vista ni con dispositivos ópticos de poca resolución.

2. Estado elasto-plástico.

En este estado la curva tensión-deformación se desvía de la linealidad. A partir de la primera grieta un número creciente de estas se presentan, crecen muy lentamente al inicio de sus aberturas hasta que el número de grietas se estabiliza y aumenta entonces rápidamente. Walkus limita este estado desde el inicio de la primera grieta de 20 hasta una abertura de 100m. y una deformación de $e = 645 \times 10^{-5}$.

3. Estado de fallo.

El máximo número de grietas han aparecido ya y el aumento de las deformaciones se debe fundamentalmente al crecimiento en la abertura de las mismas, hasta el fallo del elemento por la ruptura del acero.

El detalle de los estados se detallan en la tabla 2.4:

FASE	ESTADO TECNOLÓGICO	ANCHO DE FISURA
Elástica	Impermeable	$\omega \leq 20\mu$
Elasto-plástico	Anticorrosivo I	$20 < \omega \leq 50\mu$
Plástico	Anticorrosivo	$50 < \omega \leq 100\mu$
	corrosivo	$> 100\mu$

Tabla 2.4 Detalle de los estados en tracción del ferrocemento. 2

2.3.3.- RESISTENCIA AL IMPACTO.

Se considera que la resistencia al impacto del ferrocemento es ligeramente mayor que la del concreto reforzado tradicional, debido a su elevada capacidad de absorción de energía. Los resultados experimentales demuestran que las propiedades de la malla de refuerzo y del acero del armazón ejercen importante influencia sobre la capacidad de resistencia al impacto del ferrocemento. Se ha encontrado que los tableros con una mayor superficie específica de malla y con mayor resistencia proporcionan una mejor resistencia al impacto. Con separaciones pequeñas del refuerzo de acero del armazón se imparte una mejor resistencia al impacto que con separaciones mas amplias. ¹

2.3.4.- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

La curva carga-deformación de un elemento sometido a flexión simple es aproximadamente trilineal y se pueden apreciar tres zonas de comportamiento bien definidas: elástica, elasto-plástica y plástica, como se muestra en la figura 2.3.

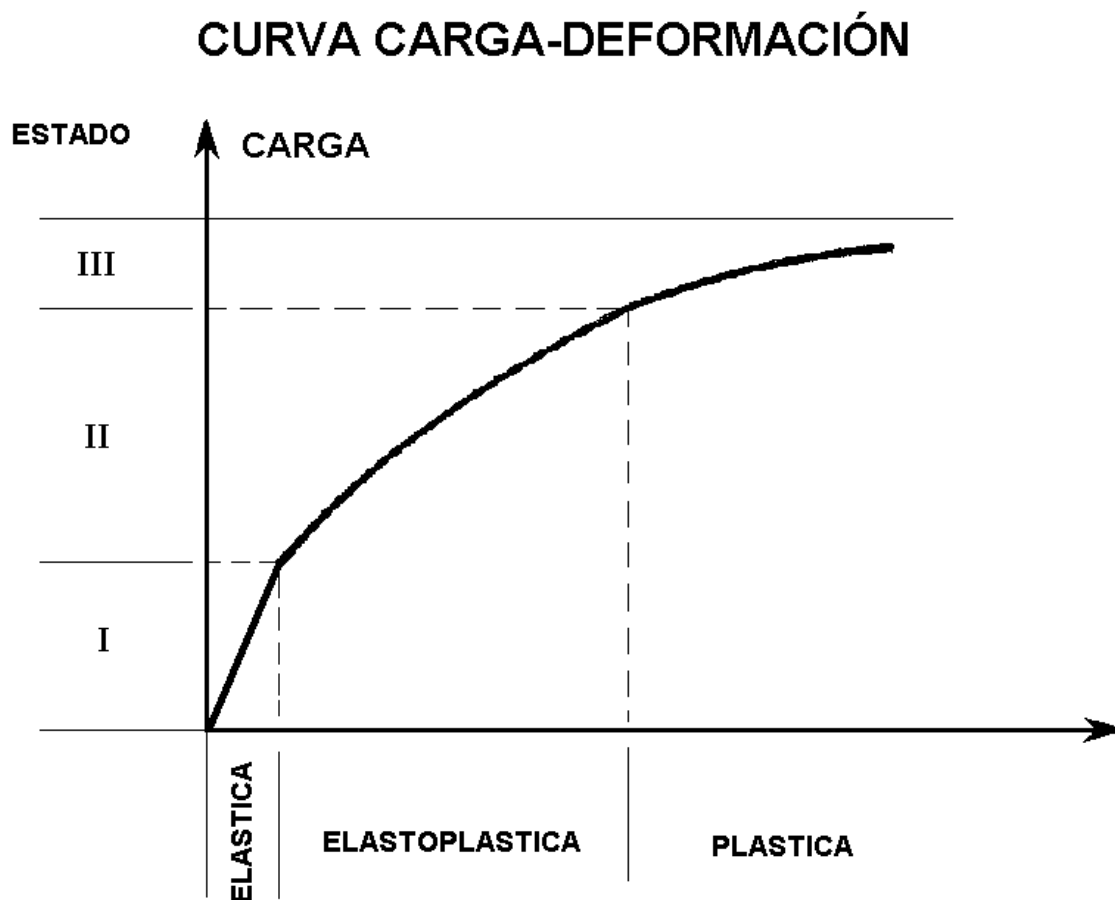


Figura 2.3: curva carga v/s deformación.

En el caso de tracción simple, el ferrocemento se comporta como un material

elástico hasta la formación de la primera fisura, cuando ocurre una sensible disminución de rigidez en el elemento flexado, identificado por la deflexión del diagrama carga-flecha.

En la siguiente zona el comportamiento pasa a ser elasto-plástico, ocurriendo una multiplicación del número de fisuras acompañado de un aumento pequeño, pero progresivo de la abertura de las mismas. El diagrama carga-flecha se aproxima bastante a una línea recta. En la fase final o de fallo, el comportamiento del material es claramente no lineal, ocurriendo un rápido aumento de las flechas y un acentuado aumento del ancho de las grietas hasta que ocurre el fallo. En este estado se considera que toda la fuerza de tracción la toma el acero.

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 a 67 - 80 % de esta cuando se orienta a 45°. En las telas de malla de metal expandido y hexagonal la resistencia en la dirección transversal es de 33 y 57 % respectivamente de la obtenida en la dirección normal.

En la practica el hecho de concentrar las capas de telas de malla en los bordes superiores e inferiores debe aumentar la resistencia a la flexión para la misma cantidad de acero con respecto a si las capas se distribuyen uniformemente en todo el espesor, dado que la distancia al eje neutro es mayor, aunque esto puede, en algunas ocasiones, disminuir el factor de eficiencia.

2.4.- NORMATIVAS UTILIZADAS.

Se utilizaran diferentes tipos de normativas, de acuerdo a las necesidades e información solicitada.

Se consultaran las siguientes Normas del Instituto Nacional de Normalización (INN) para todo lo relacionado con requisitos para fabricación, transporte y colocación de hormigones y morteros:

NCh 170 of 85 : “ Hormigón - Requisitos generales”.

NCh 429 of 57 : “Hormigón Armado - Parte I”.

NCh 430 of 86 : “Hormigón Armado - Parte II”.

Se consultaran las siguientes Normas para el caso de las solicitudes:

NCh 1537 of 86 : “Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecarga de uso”.

Se consultan las siguientes Normas para el caso de los ensayos:

NCh 1038 of 77 : “Hormigón - Ensayo de tracción por flexión”.

NCh 158 of 67 : “Cementos - Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento”.

NCh 2260 of 96 : “Morteros - Preparación de mezclas de prueba y mezclas en laboratorio”.

Se consultaran para el diseño del ferrocemento el código del American Concrete Institute (ACI 318-99). Como material de apoyo también se consultara el libro “Ferrocemento-diseño y construcción” H. Wainshtok.

C APITULO III

DISEÑO DE LOSA π DE FERROCEMENTO.

3.1.- CARGA DE DISEÑO.

Las cargas de diseño se utilizan para cualquier tipo de edificio o elemento del edificio y su ubicación geográfica, para esta losa solo consultaremos la norma NCh 1537 of 86 “Diseño estructural de edificio - Cargas permanentes y sobrecargas de uso”. 4

3.1.1.- CARGA MUERTA O PESO PROPIO.

Se describe como la acción cuya variación en el tiempo es despreciable en relación a sus valores medios o aquella para la cual la variación tiende a un valor constante; por ejemplo, el peso de los elementos estructurales, etc.



Figura 3.1: Corte transversal losa y sobrelosa.

3.1.1.1.- CALCULO DE PESO PROPIO LOSA DE FERROCEMENTO.

Para el cálculo del peso propio se utilizaran las siguientes medidas:

$$\text{Espesor (e)} = 3\text{cm.}$$

$$\gamma_{\text{ferrocemento}} = 2500 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Área (A)} = 0,0432 \text{ m}^2.$$

Según fórmula tenemos que:

$$P_p = \gamma_f \cdot x \cdot A$$

$$P_p = 108 \text{ [kg/m]}.$$

3.1.1.2.- CALCULO DEL PESO DE LA SOBRE LOSA A FUTURO.

Para el cálculo del peso propio de la sobre losa se utiliza los siguientes datos:

$$\text{Espesor} = 4 \text{ cm.}$$

$$\gamma_{\text{sobrelosa}} = 2400 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Área (ASL)} = 0,04 \text{ m}^2.$$

Según fórmula tenemos que:

$$P_{pSL} = \gamma_{SL} \cdot x \cdot ASL$$

$$P_{pSL} = 96 \text{ [kg/m]}.$$

En total la carga muerta de la losa de ferrocemento es de:

$$P_T = P_{pSL} + P_p$$

$$P_T = 204 \text{ [kg/m]}. \quad (D)$$

3.1.2.- CARGA VIVA O SOBRECARGA DE USO.

Sobrecarga de uso:

La sobrecarga de uso es la acción variable en el tiempo que se determina por la función y uso del edificio. Presenta variaciones frecuentes o continuas, no despreciables en relación a su valor medio.

Para efectos de diseño de esta losa se utilizara una sobrecarga de uso según Norma chilena NCh 1537 of 86 de la siguiente manera:

Tipo de edificio	Descripción de uso	Sobrecarga de uso Sc, kPa	Sobrecarga de uso Sc, kgf/m²
Vivienda	Áreas de uso general	2,0	200

Tabla 3.1: Valor de sobrecarga de uso según edificación.⁴

$$PSC = Sc \times b \quad (b = 1,0 \text{ m. de ancho de la sobre losa })$$

$$PSC = 200 \text{ [kf/m]}. \quad (L)$$

3.2.- ESTADOS DE CARGA.

Para efectos del calculo de los estados de carga de la losa consultaremos el “Building code requirements for reinforced concrete” del American Concrete Institute (ACI 318 - 99). ⁵

3.2.1.- COMBINACIÓN DE CARGA.

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

U = resistencia distribuida requerida.

D = carga muerta o peso propio total.

L = carga viva o sobrecarga de uso.

$$U = 1,4 * 204 + 1,7 * 200$$

$$U = 626 \text{ [kf/m]}.$$

3.2.2.- REQUISITOS DE RESISTENCIA DE LA LOSA.

En el procedimiento de diseño por resistencia, 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 ϕ , por lo tanto el requisito básico para el diseño por resistencia se puede expresar como: 5

$$M_n * \phi \geq M_u$$

Donde:

ϕ = 0,9 (según ACI318 para elementos con flexión sin carga axial)

M_n = Momento nominal.

M_u = Momento ultimo.

3.3.- SUPOSICIONES DE DISEÑO DE LOSA DE FERROCEMENTO.

Se considera al ferrocemento como un material homogéneo e isotrópico (las mallas se distribuyen uniformemente por toda la sección de ferrocemento).

La sección transversal que era plana antes de la carga, sigue siendo plana después de la carga, y la deformación es proporcional al esfuerzo.

La contribución de esfuerzos del mortero es nula en el caso de tracción.

La deformación de la fibra es igual a la deformación del mortero que lo rodea.

No se considera en el mortero retracción ni creep.

Existe una adherencia perfecta entre las mallas y el mortero, por lo que genera una

deformación igualitaria entre ambas.

3.4.- DISEÑO DE LOSA DE FERROCEMENTO.

3.4.1.- METODO DE DISEÑO DE ELEMENTO DE FERROCEMENTO SOMETIDO A FLEXIÓN. 2

Introducción.

Este método de diseño fue desarrollado por el profesor Alfonso Olvera de la UAM de Ciudad de México, en cuyas aplicaciones permite calcular la resistencia de los elementos o diseñar los mismos, si están solicitados por momentos flectores y esfuerzos cortantes.

El método propone el diseño de elementos estructurales cualquiera sea la forma de su sección transversal, si está solicitado por flexiones que producen esfuerzos de tracción y compresión, abajo y arriba del eje neutro, si el elemento trabaja como una viga apoyada o a la inversa, si la sección esta flexionada por un momento de empotramiento que produzca tracciones arriba y compresiones debajo de eje neutro.

Se considera como hipótesis de esfuerzos el diagrama rectangular tomándose valores de R_a (esfuerzo en el limite elástico) de 500, 400 y 300 MPa y esfuerzos en el mortero de $0,85R'_b$. (figura 3.2).

DIAGRAMA RECTANGULAR DE TENSIONES

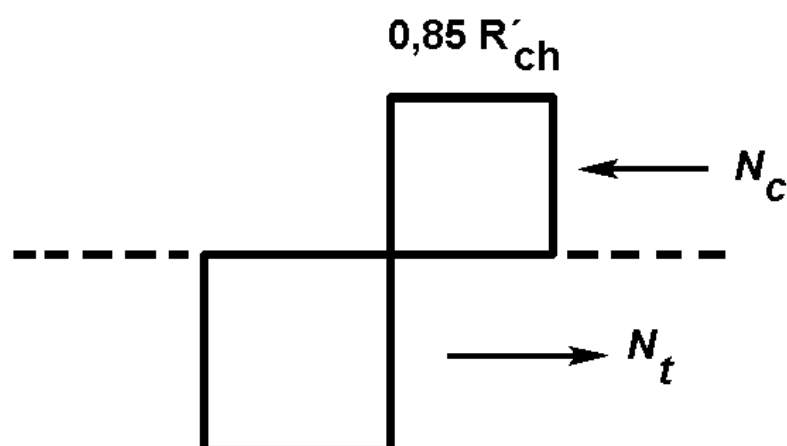


Figura 3.2: Diagrama rectangular de tensiones.

Este método consiste en determinar de acuerdo a las dimensiones y distribuciones de la armadura en la sección transversal, el área de la misma que trabaja a compresión, a continuación determina el punto de aplicación de la resultante de las compresiones, ya que el punto de aplicación de la tracción será determinado fácilmente puesto que ya se conoce cual es el área que trabajará a tracción, al haber determinado el área de compresión.

A continuación se determinara la formula general para determinar el largo a compresión (L_c) para cualquier tipo de perfil y distribución de refuerzo, además si es necesario refuerzos adicionales en las secciones que están atracción.

Simbología

A_s	:	Refuerzo uniformemente distribuido en cm^2/m .
A_{at}	:	Refuerzo adicional trabajando a tracción en cm^2 .
A_{ac}	:	Refuerzo adicional trabajando a compresión en cm^2 .
R_a	:	Esfuerzo en el limite elástico a tracción en MPa.
σ'_s	:	Esfuerzo en el refuerzo uniforme a compresión en MPa.
σ'_{ac}	:	Esfuerzo en el refuerzo adicional de compresión en MPa.
R'_b	:	Esfuerzo de rotura del mortero en MPa.
L	:	Longitud total de la sección transversal en m.
L_c	:	Longitud de la sección transversal que trabaja a compresión en m.

Para la determinación del L_c se supondrá cualquier sección y con refuerzos adicionales a tracción y compresión como se indica en la siguiente figura. (figura 3.3).

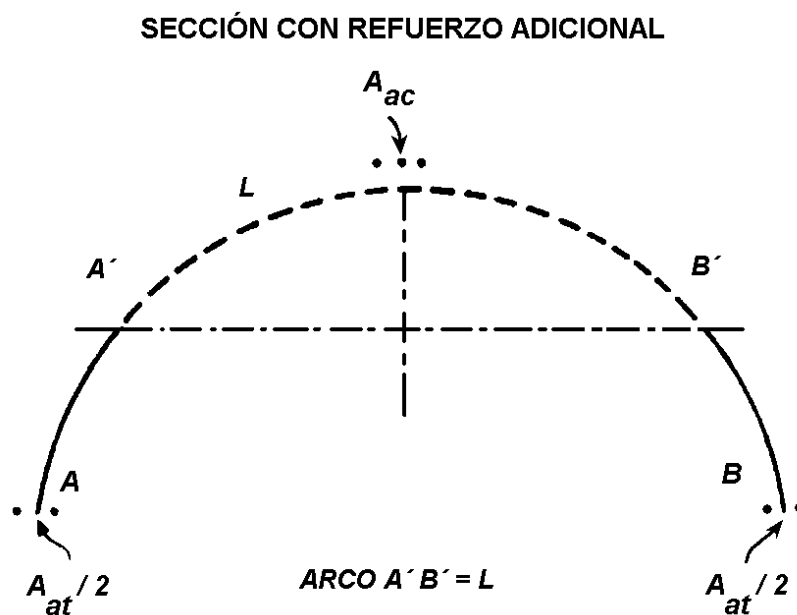


Figura 3.3: Diagrama de distribución de los refuerzos en cualquier sección.

A continuación se calculan las fuerzas de tracción y de compresión.

$$N_t = 2 l * A_s * R_a + A_{at} * R_a$$

$$N_c = A_s * \sigma'_s * L_c + A_{ac} * \sigma'_{ac} + 0,85 R'_b * L_c * e$$

e = espesor de la sección.

A continuación igualaremos las fuerzas de tracción con la fuerza de compresión, teniendo en cuenta que $2 l = L - L_c$ y despejando L_c nos queda la ecuación de la siguiente manera:

$$L_c = \frac{R_a * (A_s * L + A_{at}) - A_{ac} * \sigma'_{ac}}{A_s * (R_a + \sigma'_s) + 0,85 R'_b * e}$$

El resultado de L_c queda en metro.

3.4.1.1.- CALCULO DEL LARGO A COMPRESIÓN.

MALLA ACMA C-139

Distribución = 1,39 cm²/mt.

Limite fluencia = 500 MPa.

MALLA HEXAGONAL ¾"

Distribución = 0,38 cm²/mt.

Limite fluencia = 200 MPa.

ARMADURA ADICIONAL A TRACCIÓN

Área = 1,131 cm².

Limite fluencia = 280 MPa.

PROPIEDAD DEL MORTERO

$$f_c' = 200 \text{ [kg/cm}^2 \text{].}$$

Con los datos anteriormente detallados calcularemos el largo a compresión de la losa:

$$L_c = \frac{(1,39 * 1,5) * 500 + (0,38 * 1,5) * 200 + 2 * 1,131 * 280}{1,39 * (500 + 200) + 0,38 * (200 + 80) + 85 * 20 * 3}$$

$$L_c = \frac{1789,86}{6179,4}$$

$$L_c = 0,29 \text{ mt.} \quad \rightarrow \quad L_c = 29 \text{ cm.}$$

Lo que nos indica que toda el ala de la losa se comporta a compresión.

3.4.2.- CALCULO DEL MOMENTO NOMINAL.

Para determinar la resultante debemos hacer momento en el centro de gravedad del área a compresión, como se indica en la figura 3.4:

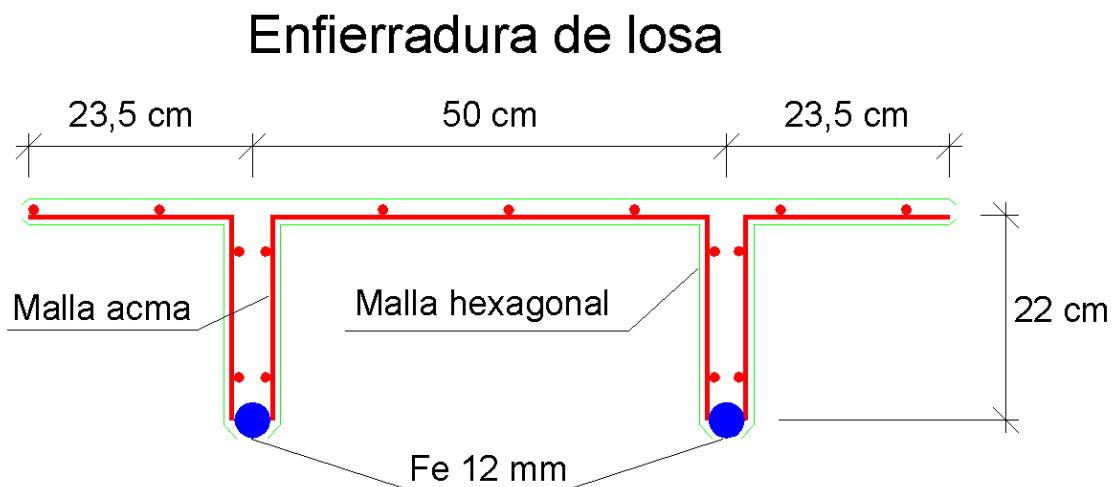


Figura 3.4: Distribución de las mallas y refuerzos en la losa.

La ecuación resulta de la siguiente manera:

$$M_n = A_{acma} * f_y acma * brazo1 + A_{hex} * f_y hex * brazo2 + A_{fe} * f_y fe * brazo3$$

Donde:

- M_n : Momento nominal (kg/mt).
 A_{acma} : Área malla acma (1,22 cm²).
 $f_y acma$: Límite de fluencia del acero de la malla acma (5000 kg/cm²).
 $brazo1$: Distancia desde la malla acma al centro del area a compresión (11 cm).
 A_{hex} : Área malla hexagonal (0,33 cm²).
 $f_y hex$: Límite de fluencia del acero de la malla hexagonal (2000 kg/cm²).
 $brazo2$: Distancia desde la malla hexagonal al centro del area a compresión (11 cm).
 A_{fe} : Área del fiero de refuerzo Æ 12mm (2,26 cm²).
 $f_y fe$: Limite de fluencia del acero de refuerzo (2800 kg/cm²).
 $brazo3$: Distancia del acero de refuerzo al centro del area a compresión (22 cm).

→ la ecuación queda de la siguiente manera:

$$M_n = 1,22 * 5000 * 11 + 0,33 * 2000 * 11 + 2,26 * 2800 * 22$$

$$M_n = 213576 [\text{kg/cm}] \quad \rightarrow \quad M_n = 2136 [\text{kg/mt}].$$

3.4.3.- CALCULO DEL MOMENTO ÚLTIMO.

Para realizar el calculo del momento ultimo primero se deberá establecer en que sentido o dirección están actuando los esfuerzos, si la losa es bidireccional o unidireccional. Para el caso de una losa bidireccional se trabajara con la tabla de Czerny, la cual nos dará la dirección y el cálculo de los esfuerzos en la losa, para una losa unidireccional se deberá considerar las reacciones en un solo sentido y además se tratara igual que una viga simplemente apoyada.

Parámetros para utilizar la tabla de Czerny:

$$\frac{l_y}{l_x} > 0,5 \quad \text{y} \quad \frac{l_y}{l_x} < 2$$

En el caso de la losa de ferrocemento tenemos que:

$$l_y = 1 \text{ mt.}$$

$$l_x = 4.8 \text{ mt.}$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{l_y}{l_x} = 0,208 < 0,5 \quad \rightarrow \text{No cumple con los parámetros.}$$

→ Se trabajara como una losa unidireccional y simplemente apoyada.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado se calculara el momento último con el siguiente esquema de viga según lo indicado en la figura 3.5:

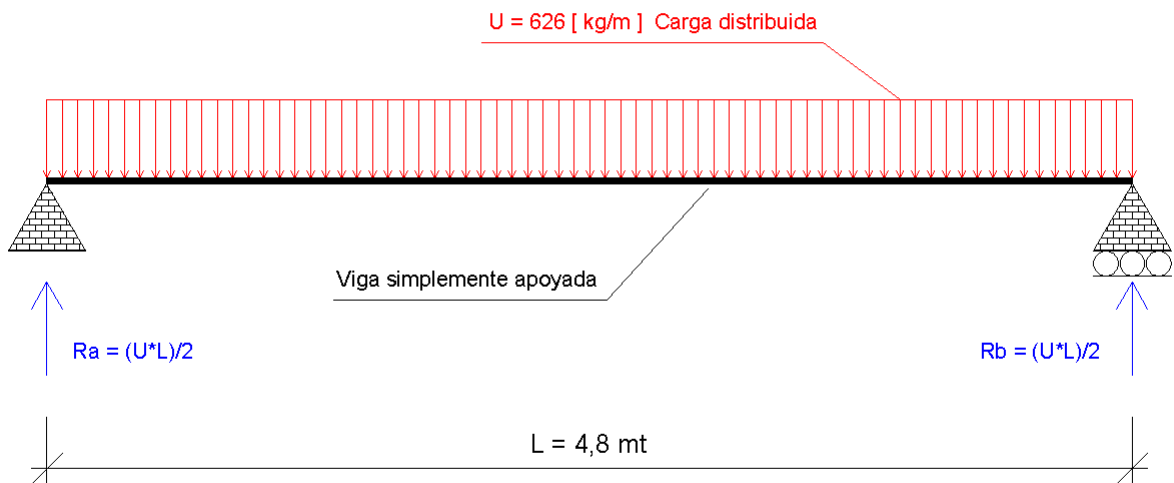


Figura 3.5: Esquema de la carga distribuida y las reacciones.

Donde la carga distribuida U corresponde a la combinación de carga mas desfavorable calculada en el capítulo 3.2.1.

La ecuación general de momento en cualquier distancia de una viga simplemente apoyada esta dada por:

$$M(x) = \frac{U \cdot L(x)}{2} - \frac{U(x)^2}{2}$$

El momento máximo de la viga se producirá a una distancia de $x = 2,4\text{mt.}$

$$x = 2,4\text{mt.} \quad \rightarrow \quad M_u = 3605 - 1802$$

$$\rightarrow \quad M_u = 1802 \text{ [kg/m].}$$

Por otra parte para que el diseño se de por aprobado debe cumplir con el capítulo 3.2.2 basado en el código de hormigón ACI 318: 5

$$M_n \cdot \phi \geq M_u$$

$$\rightarrow \quad 2136 \cdot 0,9 \geq 1802$$

$$\rightarrow \quad 1922 \geq 1802. \quad \text{Ok.}$$

\rightarrow El diseño se da por aprobado.-

CAPITULO IV

FABRICACIÓN DE LOSA π DE FERROCEMENTO.

En el presente capitulo nos evocaremos a describir el proceso de construcción de las tres losas de ferrocemento, describiremos la fabricación de los moldajes, la construcción de la armadura, el hormigonado de las losas y por ultimo el descimbre o desmoldaje de este.

4.1.- FABRICACIÓN DEL MOLAJE.

En la construcción del moldaje de las losas de ferrocemento se debieron primero establecer el material del cual estaría hecho el moldaje y la madera de refuerzo que sostendrá las planchas para evitar la deformación por efectos del peso del mortero, la decisión de ocupar el terciado estructural de 9,5 mm. se baso en parte también a la economía, siendo esta medida mucho mas conveniente en precio que los otros espesores, para efectos de refuerzos de los moldajes se ocuparon piezas de madera de pino insigne de escuadría 2"x2".

Antes de disponernos a cortar las planchas se dimensionaran y cubicaran las diferentes piezas del moldaje, con esto sabremos las cantidades de piezas que se ocuparan por moldaje lo que nos indicara la cantidad de planchas que deberemos comprar. Unas ves obtenidas las planchas se dispondrá a dimensionarlas de acuerdo a los largos señalados anteriormente para efectos de formar la figura que se desea.

Los largos y ubicación de las piezas se verán en la siguiente figura 4.1

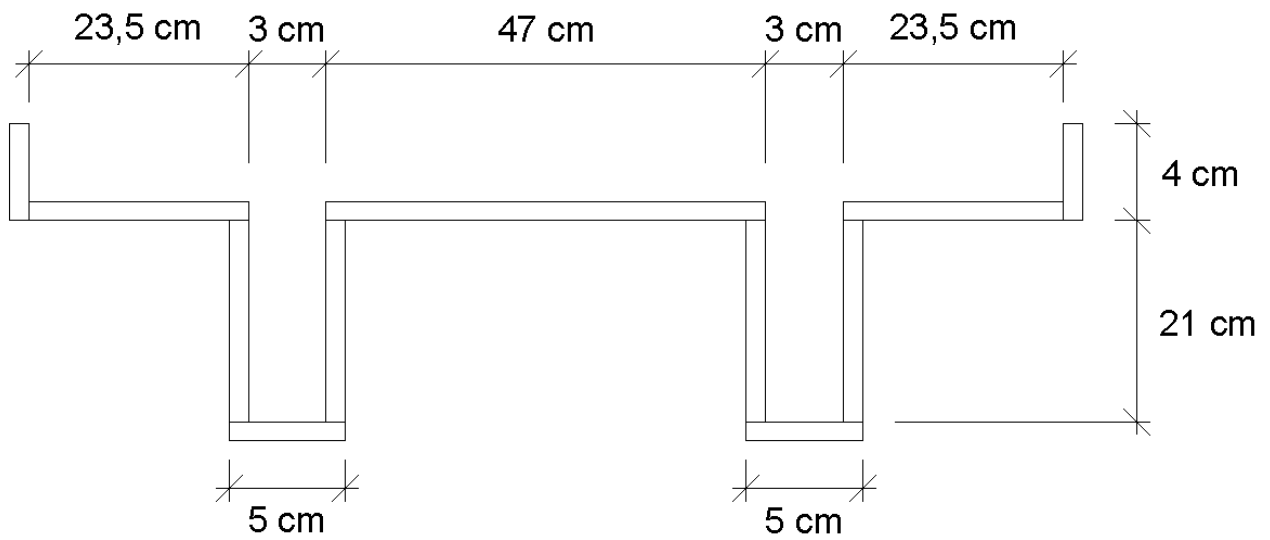


Figura 4.1 Ubicación y ensamble de las piezas del moldaje.

Una vez dispuestas y ordenadas cada pieza de acuerdo a la geometría de la losa se procedió a ensamblarlas entre si con de dos formas, una de ellas fueron tornillos autoperforantes de 1½" que unieron entre si las planchas de terciado estructural, una vez unidas y para asegurar que el moldaje no cediera en el hormigonado se procedió a reforzar la estructura con piezas de 2x2" y clavos de 2½" y 3", la disposición de las piezas de madera se pueden apreciar en la figura 4.2.

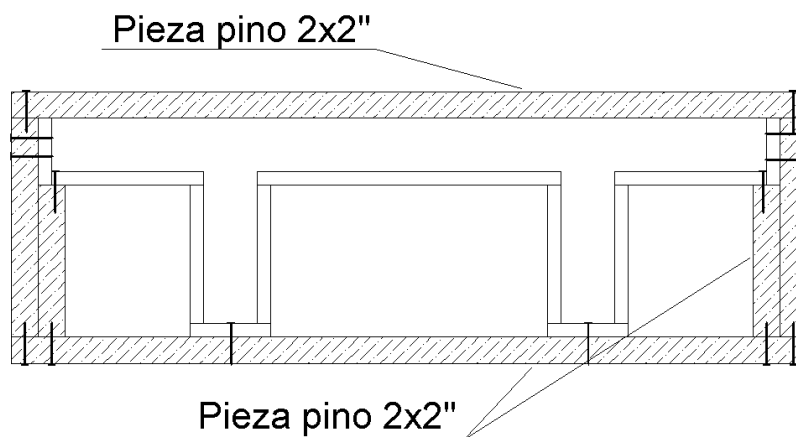


Figura 4.2 Detalle de refuerzos del moldaje.

Una vez reforzado el moldaje se procedió colocar una tapa en cada extremo.

4.2.- ELABORACIÓN DE LA ARMADURA.

Una vez fabricado el moldaje se procedió a formar el esqueleto de la losa de ferrocemento, este esqueleto se dividía en una serie de mallas y alambres de refuerzos ubicados y distribuidos de acuerdo con el diseño del capítulo 3.4.2.

Lo primero que se formo en el esqueleto de la losa fue la malla acma pues esta malla le da la rigidez a la enfierradura del ferrocemento. Se hicieron por losa tres tipos de armadura que se fueron ensamblando y uniendo por alambre #14. Las medidas se muestran a continuación en la figura 4.3.

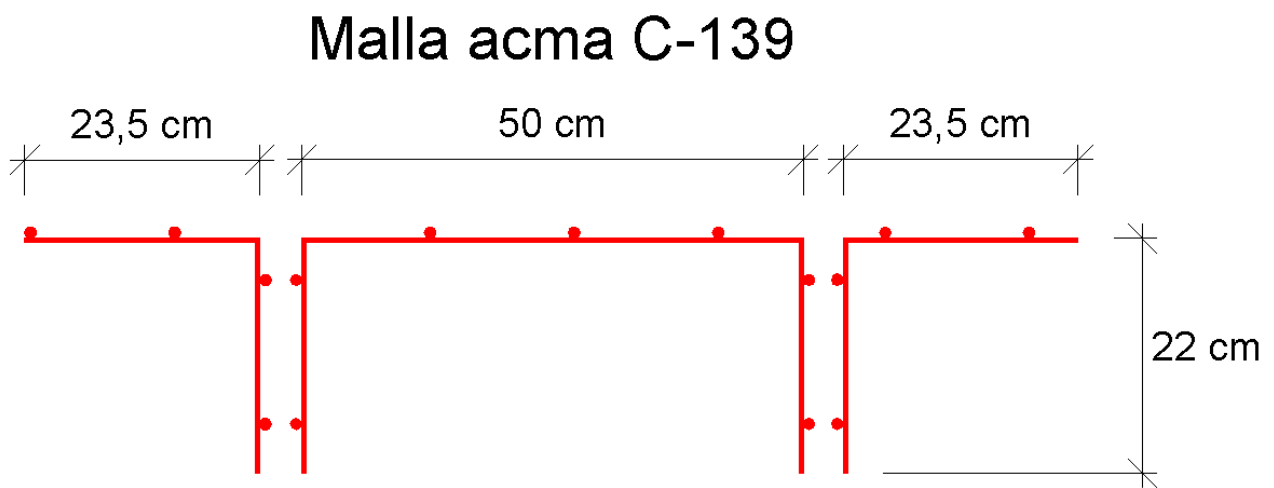


Figura 4.3 Medias de la malla acma.

Después de hecha esta malla se procedió a amarrarle los fierros de refuerzo anteriormente calculados, cada alma de la losa se reforzara con fierros $\varnothing 12$, los que se ubicaran en el extremo a tracción del alma, dejando un recubrimiento de 1,5cm.

Finalmente después de unidas las piezas de malla acma y las barras de refuerzo se procederá a forrar la armadura con malla hexagonal la cual se especifico en el capítulo 2.2.1.1, el detalle de la distribución se especifica en la siguiente figura 4.4.

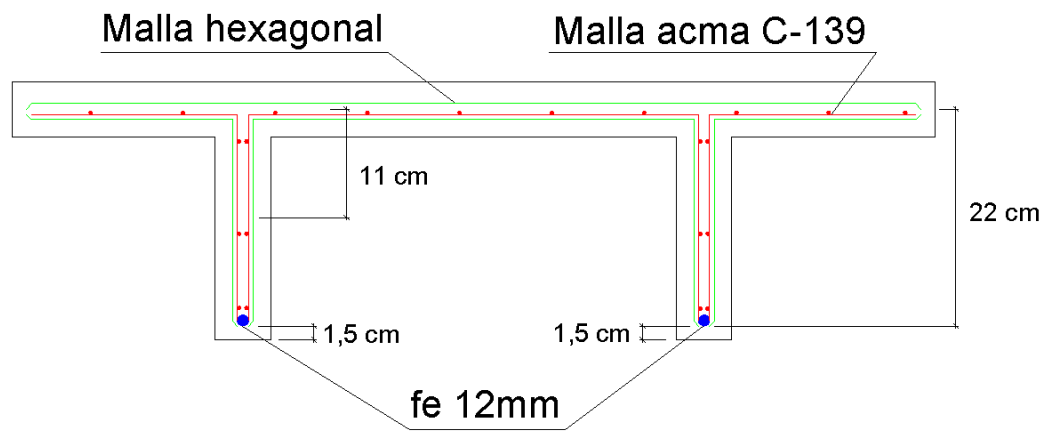


Figura 4.4 Armadura tipo de losa.



Fotografía 4.1 Plano general de la armadura.



Fotografía 4.2 La enfierradura dentro del moldaje.

4.3.- VACIADO DEL MORTERO.

El mortero fue entregado previo acuerdo del día y la hora por un camión mixer de la empresa Lafarge Hormigones sucursal Valdivia en las cercanías del laboratorio LEMCO, ya que por el tamaño de este camión le era imposible el ingreso al patio de estacionamiento del LEMCO.

Una vez llegado el mortero se dispone en obra a agregar el aditivo R-1000 al tiempo de agitar enérgicamente el mortero durante aprox. 5 minutos, después de esto el mortero es vaciado en las carretillas para el transporte hacia las losas. Para evitar la pérdida de material en el transporte las carretilla se llenaron en $\frac{3}{4}$ partes del volumen total.

Después se vaciaron las carretillas en los moldajes con la ayuda de palas, introduciendo este mortero por capas para así evitar el exceso de nidos de aire o burbujas. No se utilizó zonda vibradora por el poco espesor de la losa y además por el peligro de que esta pudiera tocar la armadura, en su defecto se golpeó el moldaje con martillo para que así el mortero expulsara las burbujas.

Una vez extraídas todas las burbujas del mortero se procedió a platachar la superficie de la losa, emparejándola y afinándola, esto queda reflejado en la fotografía 4.3.



Fotografía 4.3 Curado de la losa.



Fotografía 4.4 Superficie de losa afinada.

4.4.- DESMOLDE DE LOSA.

Una vez transcurrido un tiempo prudente, entre 2 a 3 días, se procede a desmoldar las losas, en este proceso no tuvimos mayor dificultad por el hecho que los moldajes se unieron con tornillos.

Cabe destacar que el proceso de desmoldar las losas se realizo con sumo cuidado para evitar fracturas superficiales, impactos y desprendimientos del recubrimiento de la enfierradura.

La losa finalmente se ve en la fotografía 4.5.



Fotografía 4.5 Losa de ferrocemento.

CAPITULO V

ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN.

5.1.- GENERALIDADES DEL ENSAYO.

Para este ensayo a flexotracción se aplicaran cargas en los tramos centrales de la losa, es decir, se aplicara la mitad de la carga en cada tercio central. Por efecto de diseño la losa estará simplemente apoyada.

El efecto micro que se provoca en el eje neutro de la losa sometida a flexotracción se refleja en la siguiente figura 5.1.

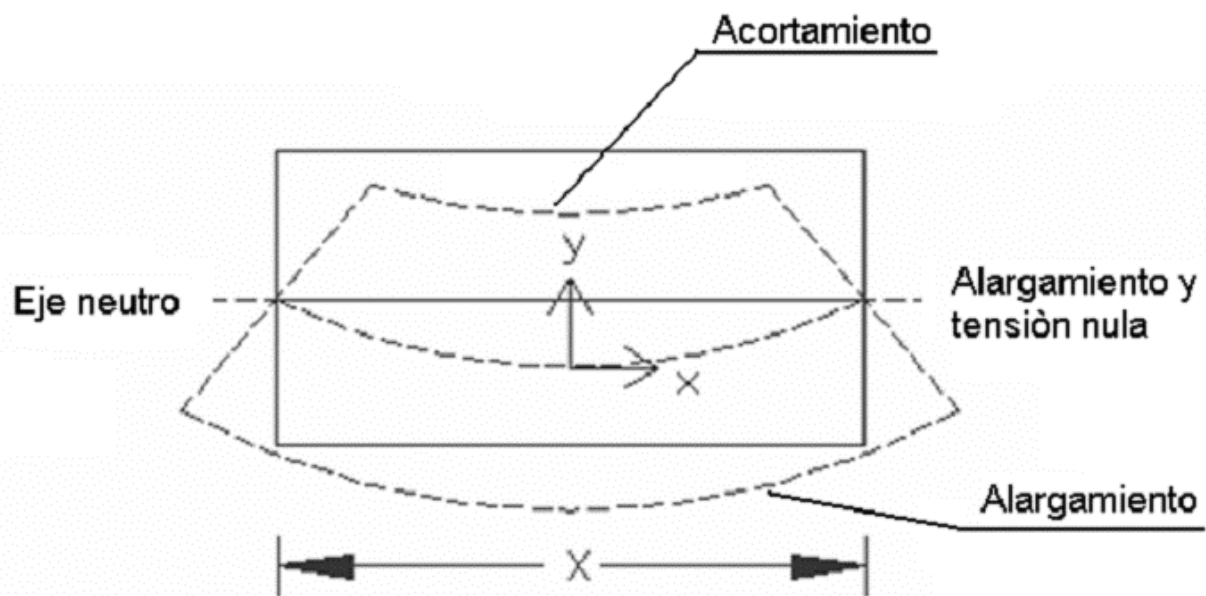


Figura 5.1 Efecto micro provocado por ensayo a flexotracción.

5.1.1.- DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTE.

El efecto que provoca la aplicación de las cargas a los tercios centrales de la losa tiene relación con el hecho que en esos puntos se provoca una flexión pura, es decir, los esfuerzos de corte en el tercio central son nulos y además el momento en ese tramo es completamente

constante como se indica en la figura 5.2

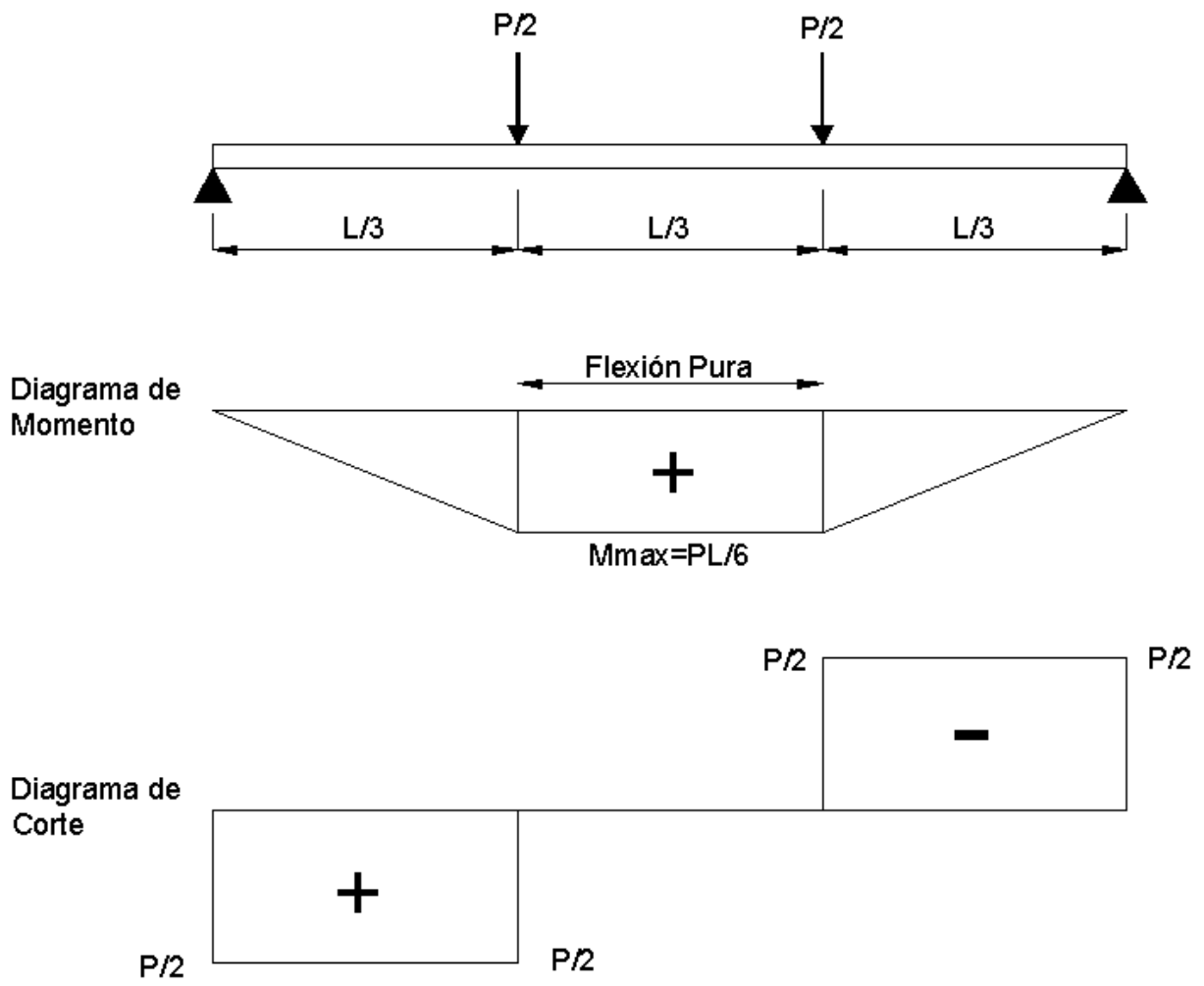


Figura 5.2 Diagrama de momento y corte.

5.2.- MATERIALES A UTILIZAR EN EL ENSAYO.

Estructura de carga: Marco de acero el cual soporta el pistón hidráulico y que en su interior se ubica la losa a ensayar.

Pistón hidráulico: Encargado de ejercer una presión o carga sobre la losa por medio de una bomba hidráulica, con capacidad de carga de 32 toneladas.

Celda de carga: Registra la carga que se le aplica a la losa, la cual es medida visualmente por el lector de carga, tiene una capacidad de 50 toneladas.

Lector de carga: Visualiza digitalmente la carga registrada por la celda de carga.

Bomba Hidráulica: Su función es entregar presión necesaria para que el pistón hidráulico trabaje, consta de una palanca que transfiere presión y un reloj que regula la velocidad de transferencia de la presión.

Viga de acero: Viga infinitamente rígida, por lo tanto sin deformación, encargada de traspasar la carga del pistón hidráulico a la losa.

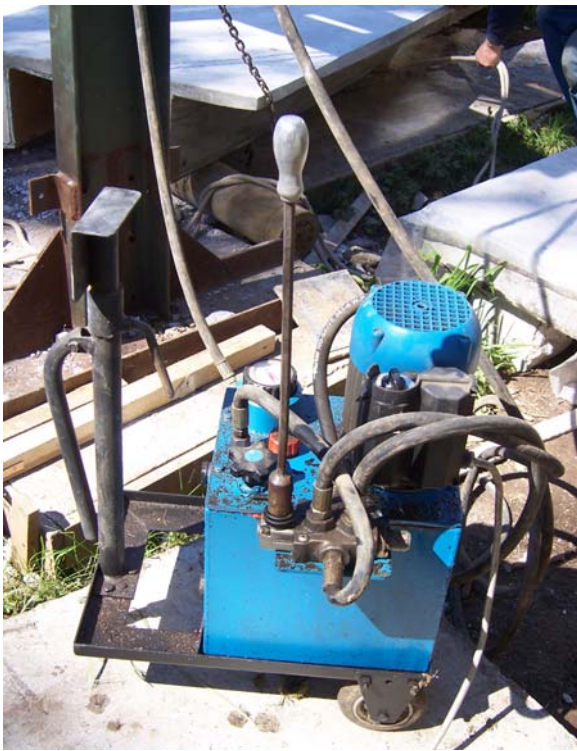
Dial: Instrumento utilizado para medir deformaciones verticales en mm.



Fotografía 5.1 Celda de carga.



Fotografía 5.2 Dial.



Fotografía 5.3 Bomba hidráulica.



Fotografía 5.4 Lector de carga.

5.3.- CALCULO ESTIMATIVO DE LA CARGA “P”.

En el caso del ensayo a flexotracción deberemos adecuar las cargas puntuales aplicadas en el ensayo con las solicitaciones en forma de carga distribuida en la losa. En palabras mas sencillas transformaremos la carga distribuida que esta actuando en la losa en una fuerza puntual, esta tan formación consistirá en igualar los momentos provocados por ambas cargas como se vera en el desarrollo de este capitulo.

Para una carga sometida a los dos tercios el momento generado es el siguiente:

$$M \text{ max} = \frac{P}{2} * \frac{L}{3} \quad \text{ec. 5.1}$$

Para una carga distribuida el momento generado es el siguiente:

$$M \text{ max} = \frac{q * L^2}{8} \quad \text{ec. 5.2}$$

Al igualar los momentos máximos de las ecuaciones 5.1 y 5.2 tenemos la siguiente relación:

$$\frac{P}{2} * \frac{L}{3} = \frac{q * L^2}{8} \quad \rightarrow \quad P = \frac{3 * q * L}{4} \quad \text{ec. 5.3}$$

La unidad de “q” esta en kg/mt, pero para este caso la necesitamos en la unidad de kg/m², por lo tanto dividimos la expresión por el ancho de la losa.

$$P = \frac{\frac{3 q L}{4}}{1} \quad \rightarrow \quad P = \frac{3 q L}{4} \quad \text{ec. 5.4}$$

Donde L = 4,6 mt. y q= 296 kg/m².

$$P = 1021 \text{ kg.}$$

5.4.- DEFORMACIÓN MAXIMA ADMISIBLE.

Para el desarrollo de este capítulo nos regiremos por el código ACI para determinar la deformación admisible en losas de ferrocemento, este código nos indicara la máxima deformación aceptada para nuestra losa: 5

$$\Delta \text{ adm} = \frac{L}{480} \quad \text{ec. 5.5}$$

Donde $L = 480$ cm la ecuación 5.5 queda:

$$\Delta \text{ adm} = 1,00 \text{ cm.}$$

5.5.- MODULO DE ELASTICIDAD TEORICO.

El modulo de elasticidad teórico se calculara de acuerdo a la formula desarrollada por Alfonso Olvera en el texto “El ferrocemento y sus aplicaciones”. En este libro explica que el modulo de elasticidad se puede expresar como una función de las propiedades de los materiales que la constituyen. 3

$$E_c = \frac{E_s * A_s}{A_c} + \frac{E_m * A_m}{A_c} \quad \text{ec. 5.6}$$

Donde:

E_c : Modulo de elasticidad del ferrocemento.

E_s : Modulo de elasticidad del acero.

E_m : Modulo de elasticidad del mortero.

A_s : Área del acero.

A_c : Área de la sección bruta.

A_m : Área del mortero.

Siendo los siguientes valores de:

MALLA ACMA-C139

$$A_s = 1,39 * 1,85 \quad \rightarrow \quad A_s = 2,57 \text{ cm}^2$$

$$E_s = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

MALLA HEXAGONAL $\frac{3}{4}$

$$A_s = 0,38 * 2,82 \quad \rightarrow \quad A_s = 1,07 \text{ cm}^2$$

$$E_s = 1.040.000 \text{ kg/cm}^2$$

ARMADURA ADICIONAL A TRACCIÓN

$$\rightarrow \quad A_s = 1,131 \text{ cm}^2$$

$$E_s = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

MORTERO

$$A_m = 432 - (2,57 + 1,07 + 1,131)$$

$$\rightarrow \quad A_m = 427,23 \text{ cm}^2$$

$$E_m = 15.000 \sqrt{f_c'}$$

$$E_m = 15.000 \sqrt{200} \quad \rightarrow \quad E_m = 212.132,03 \text{ kg/cm}^2$$

FERROCEMENTO

$$\rightarrow \quad A_c = 432 \text{ cm}^2$$

Reemplazando en la ecuación 5.6 queda:

$$E_c = \frac{2.000.000 * 2,57}{432} + \frac{1.040.000 * 1,07}{432} + \frac{2.000.000 * 1,131}{432} + \frac{212.132,03 * 427,23}{432}$$

$$\rightarrow \quad E_c = 229499,92 \text{ kg/cm}^2.$$

CAPITULO VI

RESUMEN DE RESULTADOS.

6.1.- TABLA DE RESULTADOS Y GRAFICOS.

6.1.1.- LOSA N° 1.

Los resultados de los ensayos se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla Carga-Descarga losa N°1

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)
0	0	0	0
200	101	1,01	0,101
400	204	2,04	0,204
600	309	3,09	0,309
800	418	4,18	0,418
1000	540	5,4	0,54
1000	540	5,4	0,54
800	483	4,83	0,483
600	402	4,02	0,402
400	303	3,03	0,303
200	200	2	0,2
0	164	1,64	0,164

Carga y descarga losa 1

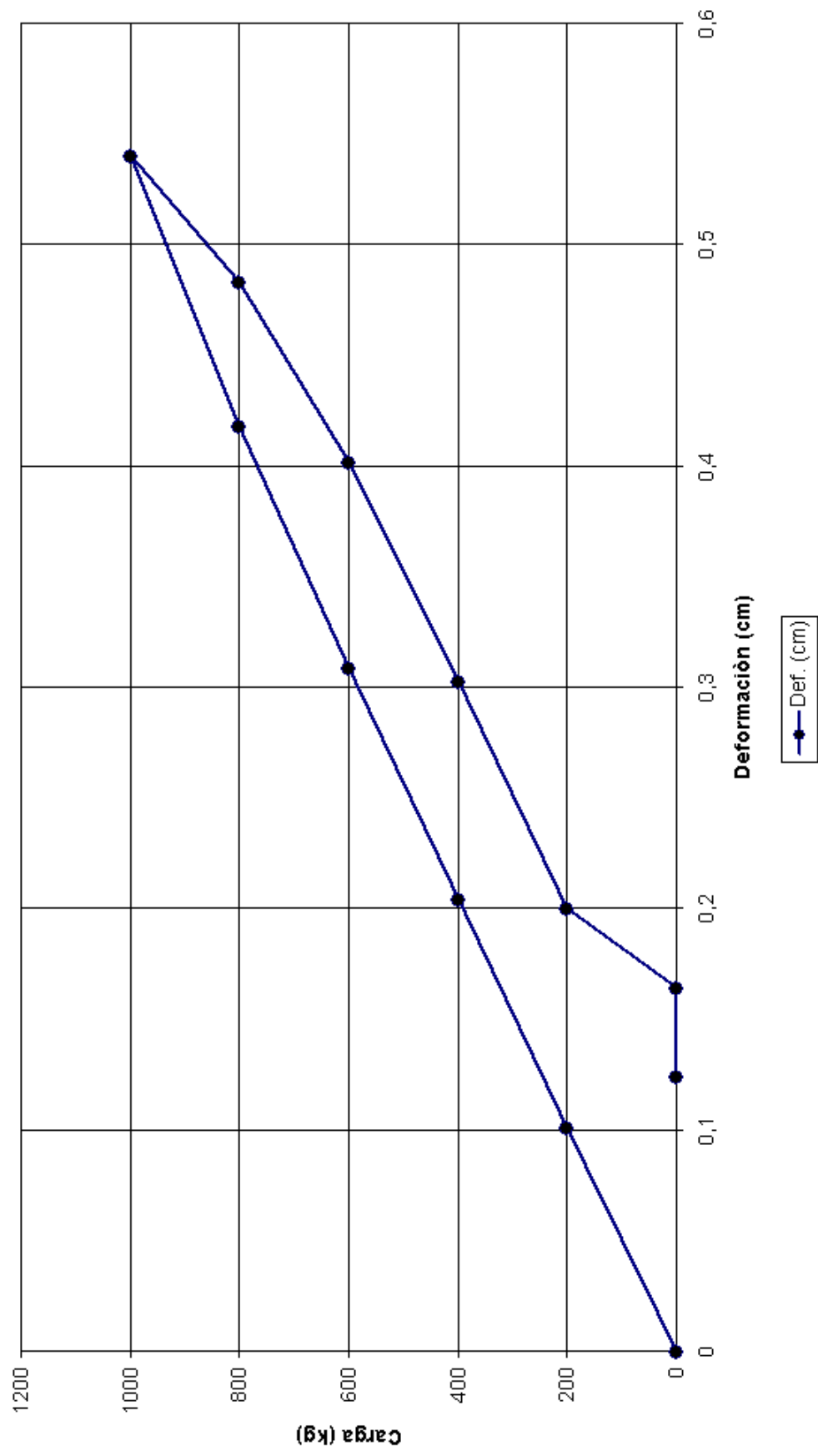
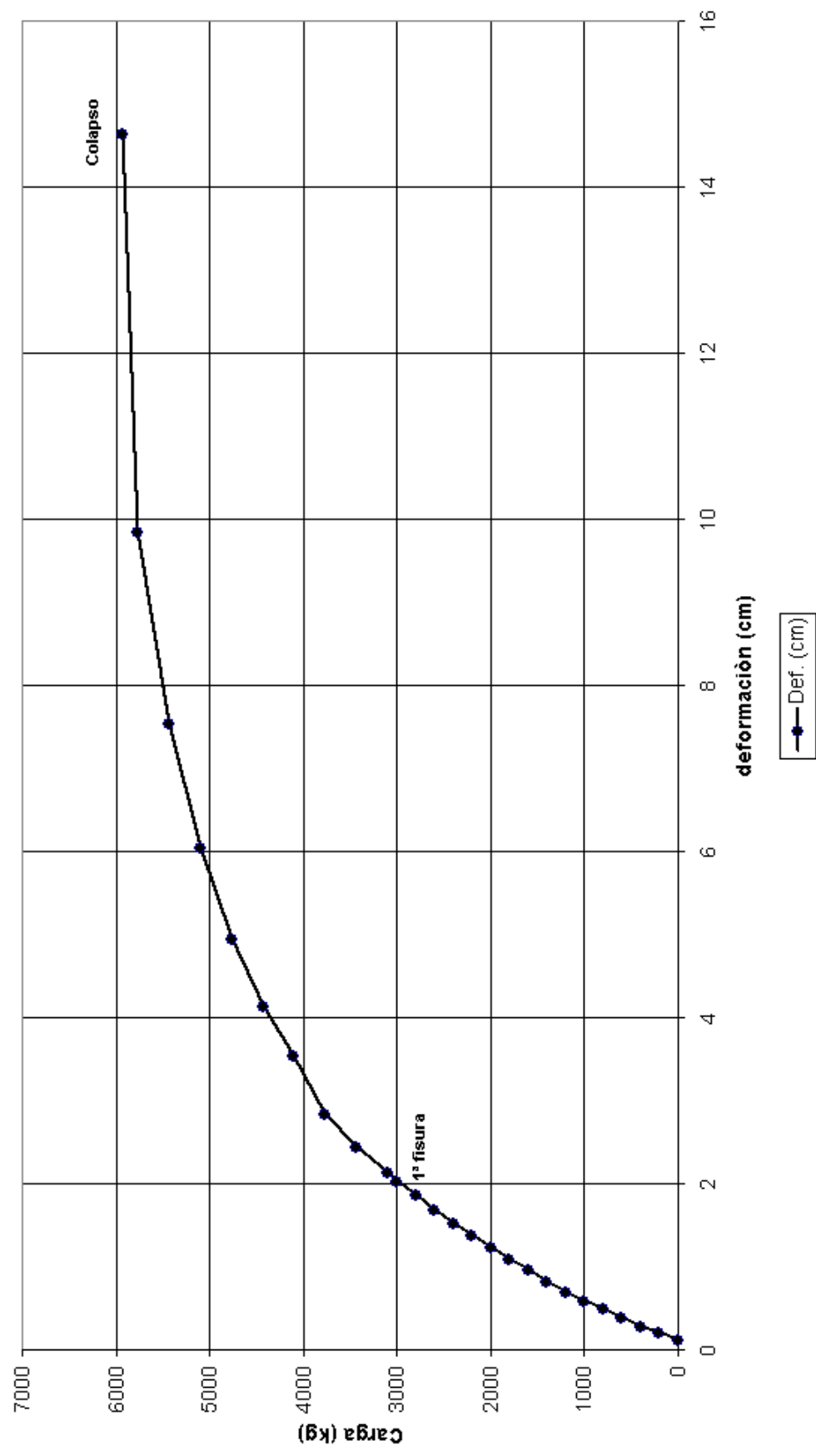


Tabla Carga vs Deformación losa 1

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)	
0	164	1,64	0,164	Recuperación Despues de 24 Hrs.
0	124	1,24	0,124	
200	211	2,11	0,211	
400	295	2,95	0,295	
600	395	3,95	0,395	
800	500	5	0,5	
1000	591	5,91	0,591	
1200	699	6,99	0,699	
1400	830	8,3	0,83	
1600	968	9,68	0,968	
1800	1098	10,98	1,098	
2000	1241	12,41	1,241	
2200	1381	13,81	1,381	
2400	1529	15,29	1,529	
2600	1690	16,9	1,69	
2800	1877	18,77	1,877	1° FISURA
3000	2042	20,42	2,042	
3100	2147	21,47	2,147	
3434	2452	24,52	2,452	
3767	2850	28,5	2,85	
4100			3,55	
4434			4,15	
4767			4,95	
5101			6,05	
5434			7,55	
5768			9,85	
5935			14,65	COLAPSO

Carga vs deformación losa 1



6.1.2.- LOSA N° 2.

Los resultados de los ensayos se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla Carga-Descarga losa N° 2

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)
0	0	0	0
200	82	0,82	0,082
400	164	1,64	0,164
600	254	2,54	0,254
800	357	3,57	0,357
1000	474	4,74	0,474
1000	474	4,74	0,474
800	405	4,05	0,405
600	325	3,25	0,325
400	243	2,43	0,243
200	164	1,64	0,164
0	89	0,89	0,089

Carga y descarga losa 2

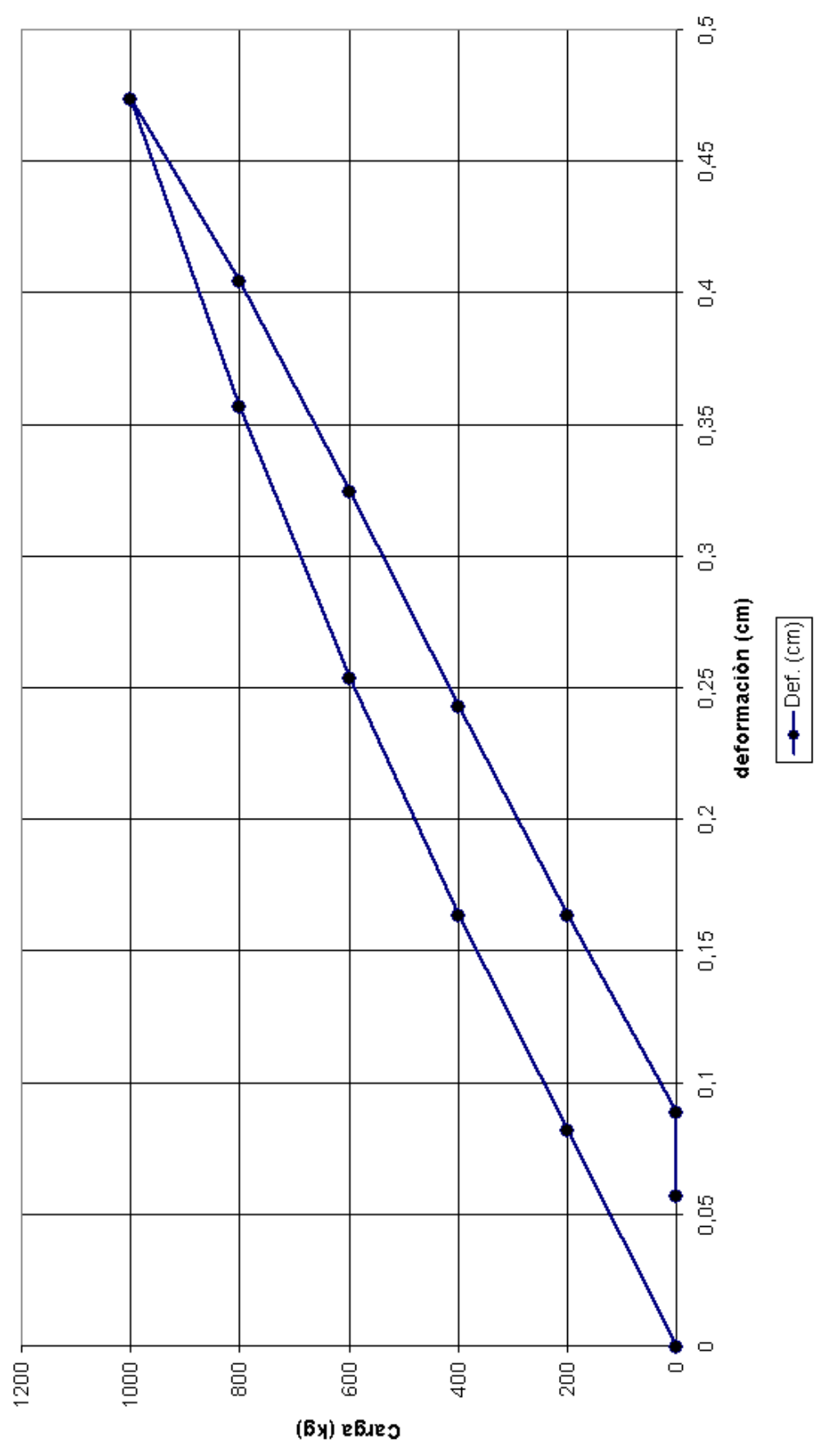
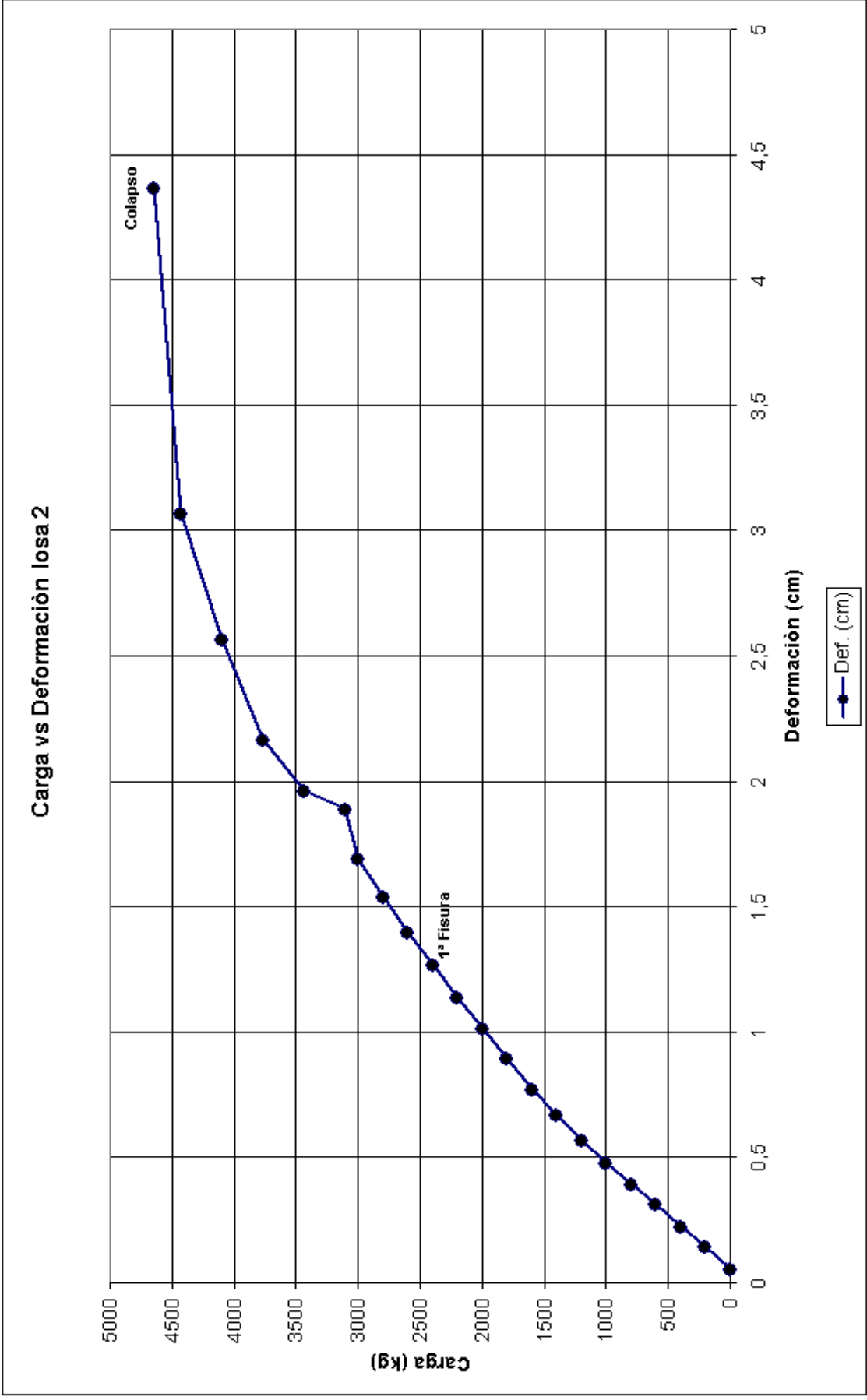


Tabla Carga vs Deformación losa 2

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)	
0	89	0,89	0,089	Recuperación Despues de 24 Hrs.
0	57	0,57	0,057	
200	148	1,48	0,148	
400	224	2,24	0,224	
600	316	3,16	0,316	
800	395	3,95	0,395	
1000	480	4,8	0,48	
1200	571	5,71	0,571	
1400	672	6,72	0,672	
1600	774	7,74	0,774	
1800	896	8,96	0,896	
2000	1016	10,16	1,016	
2200	1140	11,4	1,14	
2400	1267	12,67	1,267	1° FISURA
2600	1402	14,02	1,402	
2800	1540	15,4	1,54	
3000	1695	16,95	1,695	
3100	1890	18,9	1,89	
3434	1965	19,65	1,965	
3767			2,165	
4100			2,57	
4434			3,07	
4650			4,37	COLAPSO



6.1.3.- LOSA N° 3.

Los resultados de los ensayos se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla Carga-Descarga losa N° 3

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)
0	0	0	0
200	95	0,95	0,095
400	216	2,16	0,216
600	363	3,63	0,363
800	508	5,08	0,508
1000	665	6,65	0,665
1000	665	6,65	0,665
800	610	6,1	0,61
600	501	5,01	0,501
400	402	4,02	0,402
200	317	3,17	0,317
0	221	2,21	0,221

Carga y descarga losa 3

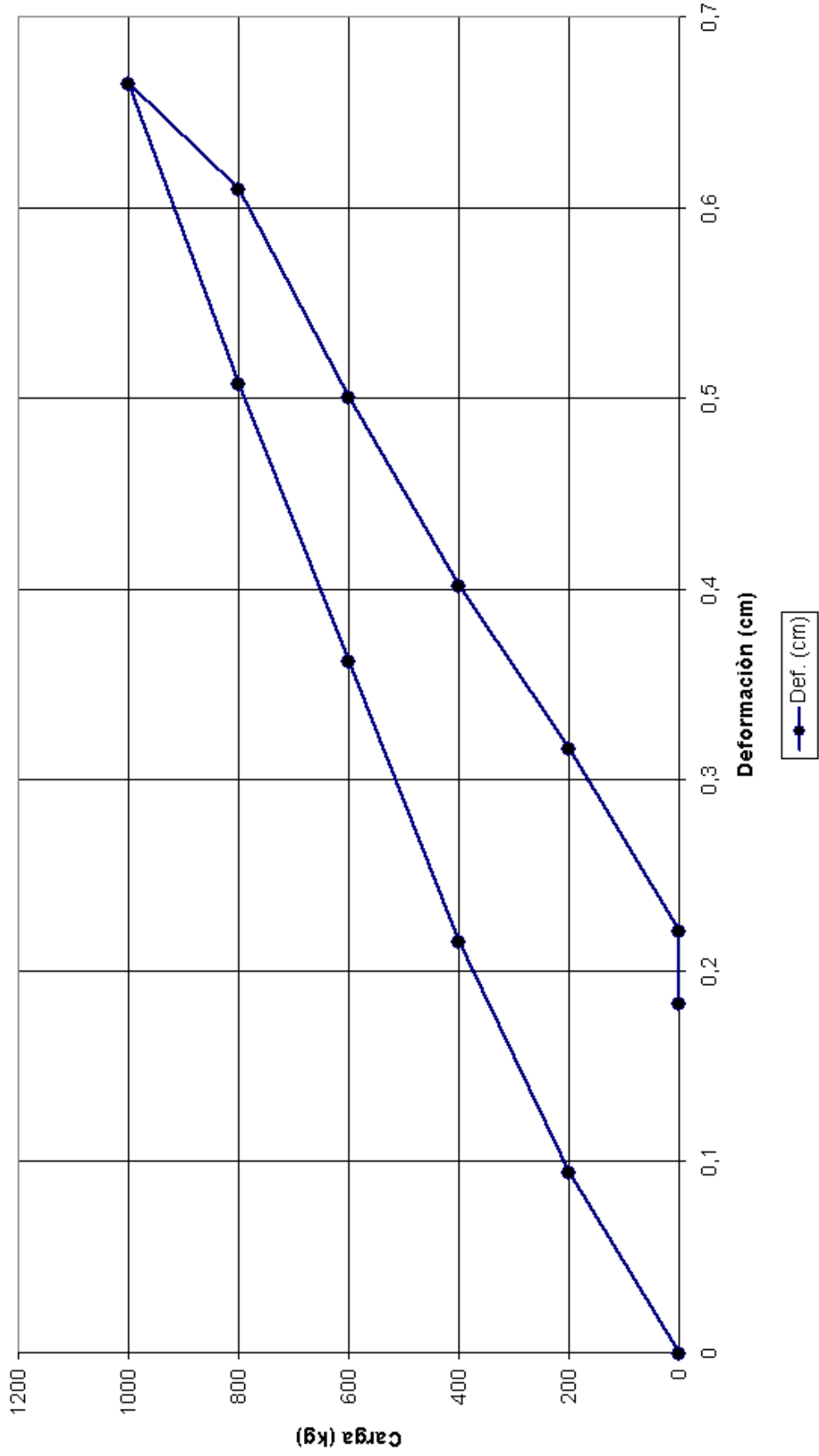
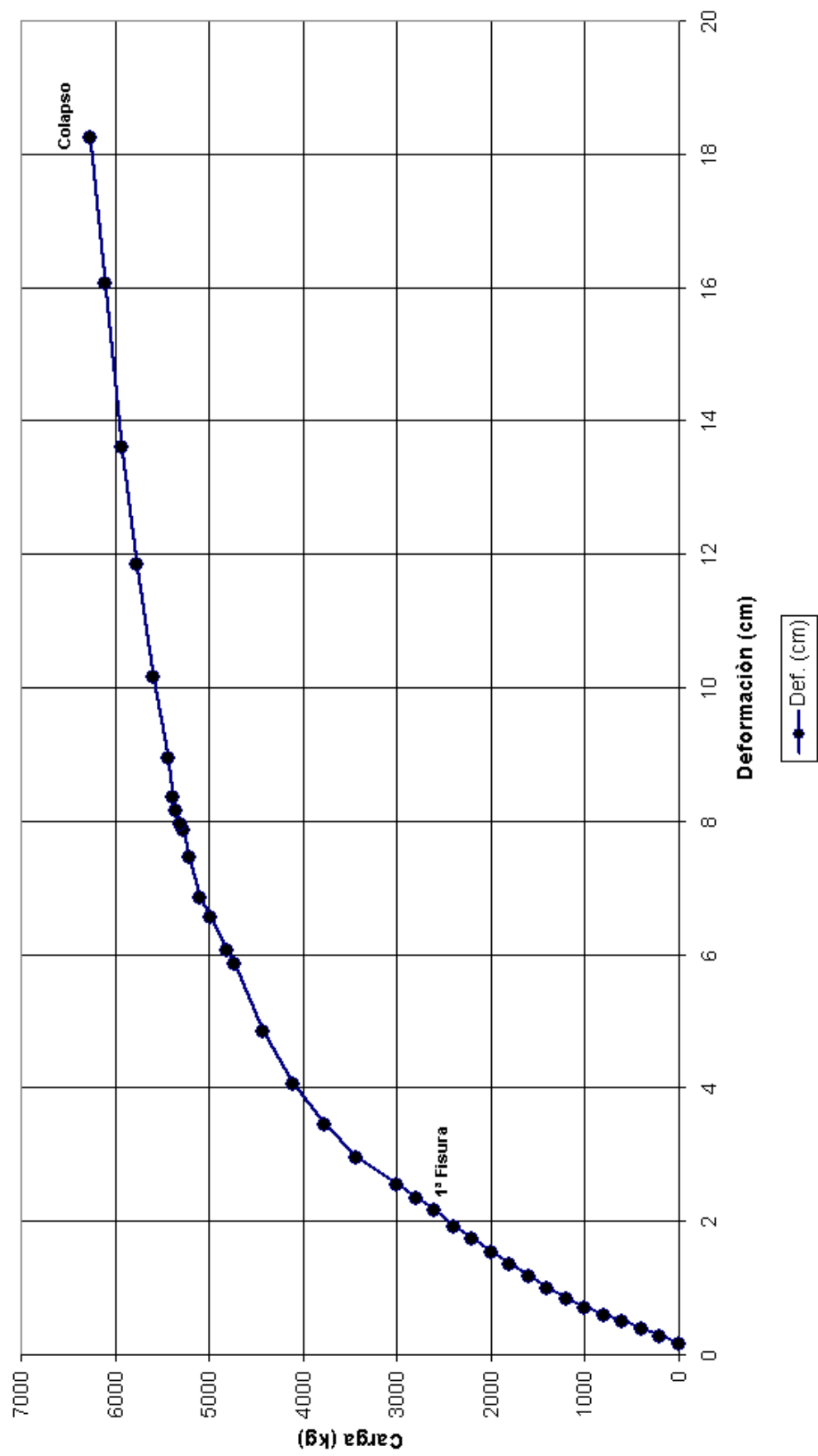


Tabla Carga vs Deformación losa N° 3

CARGA (kg)	DEF	DEF (mm)	DEF (cm)	
0	221	2,21	0,221	Recuperación Despues de 24 Hrs.
0	183	1,83	0,183	
200	297	2,97	0,297	
400	412	4,12	0,412	
600	511	5,11	0,511	
800	614	6,14	0,614	
1000	723	7,23	0,723	
1200	866	8,66	0,866	
1400	1021	10,21	1,021	
1600	1191	11,91	1,191	
1800	1376	13,76	1,376	
2000	1558	15,58	1,558	
2200	1755	17,55	1,755	
2400	1946	19,46	1,946	
2600	2181	21,81	2,181	
2800	2372	23,72	2,372	
3000	2572	25,72	2,572	
3434			2,972	
3767			3,472	
4100			4,072	
4434			4,872	
4734			5,872	
4817			6,072	
4984			6,572	
5101			6,872	
5218			7,472	
5268			7,872	
5301			7,972	
5351			8,172	
5384			8,372	
5434			8,972	
5601			10,172	
5768			11,872	
5935			13,622	
6101			16,072	
6268			18,272	COLAPSO

Carga vs Deformación losa 3



6.2.- MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL.

De acuerdo a la formula de la deformación que se provoca al aplicar dos cargas iguales a los tercios de la losa podemos calcular la elasticidad experimental de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{P * a (3L^2 - 4a^2)}{2 * 24 EI} \quad \text{ec. 6.1}$$

Donde:

P = Carga aplicada en la losa.

a = Distancia entre las cargas a los apoyos (a = 160cm).

L = Distancia entre los apoyos (L = 480cm).

E = Modulo de elasticidad.

I = Inercia de la sección.

Δ = Deformación en el centro de la losa.

Calculo de la Inercia.

$$y = \frac{23,5*300 + 2(11*66)}{432} \quad \rightarrow \quad y = 19,68 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{b*h^3 + A*d^2}{12} \quad \text{ec. 6.2}$$

Reemplazando en la ecuación 6.2 tenemos:

$$I = \frac{100*3^3}{12} + 300 (23,5 - 19,68)^2 + 2 \left(\frac{3*22^3}{12} + 66 (19,68 - 11)^2 \right) \quad \rightarrow \quad I = 19871,92 \text{ cm}^4.$$

Reemplazando en la ecuación 6.1 y despejando el modulo de elasticidad queda:

$$E = 98,77 \frac{P}{\Delta} \quad \text{ec. 6.3}$$

Para determinar el valor del modulo de elasticidad experimental tomaremos valores que estén dentro del rango elástico como se explica en el capítulo 2.3.2.

LOSA N° 1.

Para los siguientes datos reemplazamos en la ecuación 6.3 tenemos:

Carga = 2400 kg

Deformación = 1,529 cm.

$$\rightarrow \mathbf{E = 155034,66 \text{ kg/cm}^2.}$$

LOSA N° 2.

Para los siguientes datos reemplazamos en la ecuación 6.3 tenemos:

Carga = 2200 kg.

Deformación = 1,14 cm.

$$\rightarrow \mathbf{E = 190608,77 \text{ kg/cm}^2.}$$

LOSA N° 3.

Para los siguientes datos reemplazamos en la ecuación 6.3 tenemos:

Carga = 2400 kg.

Deformación = 1,946 cm.

$$\rightarrow \mathbf{E = 121812,95 \text{ kg/cm}^2.}$$

Por lo tanto el valor promedio del modulo de elasticidad experimental es:

$$\mathbf{E_{exp.} = 155818,79 \text{ kg/cm}^2.}$$

6.3.- COMPARACIÓN DEFORMACIÓN ADMISIBLE Y DE TRABAJO.

Para determinar la deformación máxima de trabajo se considerara la mayor deformación de los ensayos no destructivos del capítulo 6.1 de las losas, los cuales se compararan con la deformación admisible calculada en el capítulo 5.4.

Comparación deformación admisible y de trabajo

Losa N°	Carga (kg)	Def. trabajo (cm)	Def. Admisible (cm)	Observación
1	1000	0,54	1	cumple
2	1000	0,474	1	cumple
3	1000	0,665	1	cumple

Tabla 6.1: Cuadro de deformaciones admisibles.

6.4.- ANALISIS DE RESULTADOS.

Para las tres losas se cumple satisfactoriamente la resistencia mínima calculada en el capítulo 5.3, en la cual se indica la carga que debiera resistir la losa sin presentar ninguna fisura o grieta.

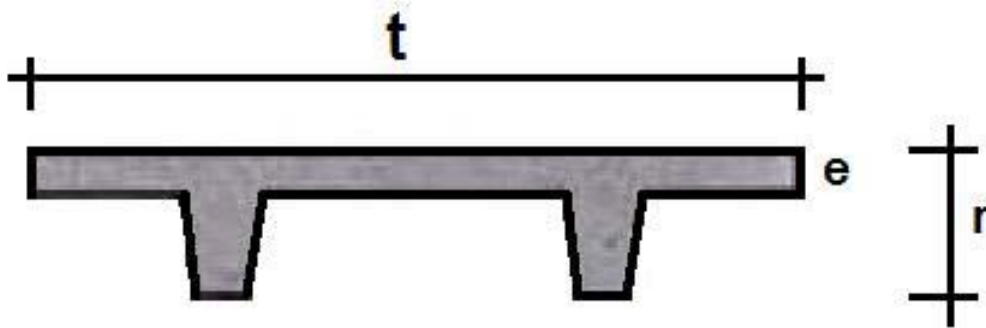
La deformación admisible calculada en el capítulo 5.4 fue comparada con las deformaciones producidas por la carga de diseño calculada en el capítulo 5.3 las cuales fueron resumidas en las tablas de ensayo no destructivo del capítulo 6.1, estas deformaciones de trabajo cumplieron satisfactoriamente.

Las graficas creadas con los datos de los ensayos reflejaron una similitud entre esta y la grafica descrita en el capítulo 2.3.4. En la grafica de datos se reflejan tres etapas bien marcadas, la primera etapa se caracteriza en la grafica por una curva prácticamente lineal, en donde en el ensayo no se vislumbro ningún tipo de fisura, a toda esta etapa se denomina fase elástica, el comienzo de la segunda etapa en la grafica se caracteriza por la aparición de pequeñas fisuras en la losa, que se empezaron a acentuar a medida conforme la carga se acentúa, aparte la carga ya no es proporcional a la deformación, finalmente terminamos de ver la ultima etapa en las graficas y la losa que corresponde a la fase plástica, en esta etapa las deformaciones fueron considerables y al momento de la descarga estas permanecían con una evidente deformación, con

casi nula recuperación, esta etapa es netamente plástica.

6.5.- COMPARACIÓN CON LOSETA DOBLE T DE “TENSOCRET”.

Nos evocaremos a comparar la loseta TT-25 según los datos entregados por la empresa Tensocret, esta loseta es la que tiene un mayor parecido en las dimensiones con la losa de ferrocemento, estos datos se representan en la figura 6.1 y en la tabla 6.2



Loseta	r	e	t	módulo m	S.C. Máx.
TT-25	25	5	99	600	1.500 kg/m ²

Tabla 6.2: Datos loseta TT-25 de Tensocret.

Compararemos las dos losas en la tabla 6.3.

LOSA	AREA (m ²)	PESO PROPIO (kg/ml)	S.C. MAX. (kg/m ²)
TT-25	0,0695	166,8	1500
Ferrocemento	0,0432	108	812

Tabla 6.3: Comparación loseta TT-25 con ferrocemento.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

Se verifico la facilidad de la construcción de las losas de ferrocemento, es decir, no es necesario contar con mano de obra especializada, lo que implica una disminución de los costos de la mano de obra en las losas.

A nivel de costos se obtuvieron bajos valores en la fabricación de la losa, ya que esta por ser de espesores muy pequeños la cantidad de material que se ocupaba en la losa eran considerablemente menor que una de hormigón armado. Con todo esto y sumado a la innecesaria mano de obra calificada disminuyeron aun mas el bajo costo de fabricación de la losa.

Para efectos de los resultados de los ensayos se comprobó que el factor de seguridad de diseño según el ACI cumplió con creces lo estipulado llegando en la losa mas desfavorable a casi un factor de 5.

Verificamos con el ensayo que el diseño que propusimos cumplió exitosamente con las normas, el factor de carga y sobre todo las deformaciones admisibles para una losa.

Se obtuvieron a pesar del poco espesor de la losa una alta capacidad para soportar las cargas y las deformaciones producidas por las mismas, esto se debió significativamente al tipo de armadura utilizada y además a la distribución y orientación de esta en la losa.

Producto de lo anterior se verifico el agrietamiento de la losa, concluyendo que este solo apareció cuando el esfuerzo estaba por llegar casi al triple de la carga de diseño, después de la aparición de la primera grieta la losa solo presento pequeños agrietamientos confirmando la buena capacidad de adherencia entre los elementos de la losa.

En el estado plástico y al borde del colapso, la losa desarrollo deformaciones importantes, esta característica es útil para las personas ya que la losa de una cierta manera avisa de su colapso con deformaciones significativas.

Considerando características como gran resistencia y peso propio muy bajo nos permiten disminuir las secciones en los elementos que soportan las losas, como también una disminución en la sección de las fundaciones, lo que provoca finalmente ahorro de material y mano de obra en las edificaciones.

Cumple satisfactoriamente con la denominación de prefabricado, ya que es factible producir en serie una losa de estas características, pero considerando un moldaje metálico.

BIBLIOGRAFIA

TEXTOS.

1. Pama, B.K. 1991. "Ferrocemento". 1° ed. México. Instituto mexicano del cemento y del concreto.
2. Wainshtok, H. 1998."Ferrocemento- diseño y construcción". 3° ed. Editorial Offset Abao Cia. Ltda.
3. Olvera, A. 2002. "El ferrocemento y sus aplicaciones". 3° ed. Mexico. Alfaomega.

Normas chilenas.

4. Instituto Nacional de Normalización. 1999. "Diseño estructural de edificios – Cargas permanentes y sobrecargas de uso. NCh 1537 of 86. Chile.
5. Código de diseño de hormigón armado. 1999. Basado en el ACI 318-99.
6. Instituto Nacional de Normalización. 1999. "Hormigón – Ensayo de tracción por flexión. NCh 1038 of 77. Chile.

REFERENCIAS DE INTERNET.

7. <http://www.inchalam.cl>. Consultado el 07/10/2006.
8. <http://www.acma.cl/mallasstock.html>. Consultado el 10/10/2006.
9. http://www.gerdauaza.cl/prods_refuerzo.asp. Consultado el 10/10/2006.

ANEXO 1

ANALISIS DE COSTOS

1.- MATERIALES.

ITEM	ELEMENTO	UNI.	CANTIDAD	VALOR UNIT. \$	TOTAL \$
1	Cemento	kg	94,5	109	10301
2	Arena fina	m ³	0,17	6570	1117
3	Agua	m ³	0,057	950	54
4	Ad. R-1000	lt	0,95	5000	4750
5	Malla C-139	uni	0,72	16750	12060
6	Malla hexagonal	ml	14,4	700	10080
7	Acero 12 mm	uni.	2	2702	5404
8	Alambre recocido	ml	20	21	420

TOTAL \$ 44.186.-

2.- MOLDAJE.

ITEM	ELEMENTO	UNI.	CANTIDAD	VALOR UNIT. \$	TOTAL \$
1	Terciado 12m	uni.	3,3	8657	28568
2	Tornillo 1 ¼"	uni.	400	5	2000
3	Clavo 1 ½"	kg	0,5	950	475
4	Desmoldante cave	lt	0,3	1900	570

TOTAL \$ 31.613.-

3.- MAQUINARIA.

ITEM	ELEMENTO	UNI.	CANTIDAD	VALOR UNIT. \$	TOTAL \$
1	Betonera	hm	1	500	500

TOTAL \$ 500.-

4.- MANO DE OBRA.

ITEM	ELEMENTO	UNI.	CANTIDAD	VALOR UNIT. \$	TOTAL \$
1	Carpintero	hr	4	1500	6000
2	Ayud. carpintero	hr	4	945	3780
3	Enfierrador	hr	4	1500	6000
4	Ayud. enfierrador	hr	4	945	3780
5	Albañil	hr	1	1500	1500
6	Ayud. albañil	hr	1	945	945

TOTAL \$ 22.005.-

5.- RESUMEN DE COSTOS.

ITEM	ELEMENTO	TOTAL \$
1	Materiales	44.186
2	Moldaje (reutilizando 20 veces)	1.581
3	Maquinaria	500
4	Mano de obra	22.005

TOTAL \$ 68.272.-

ANEXO 2

ENSAYO DE PROBETAS RILLEM

Para realizar el ensayo a flexión y compresión de los morteros consultaremos la norma chilena NCh 158 of 67 “Cementos-Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento”.

Esta norma establece los procedimientos para determinar la resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros de cementos. Es una guía útil para realizar los ensayos de compresión y flexión de las probetas rillem. Estas probetas rillem son moldes que se subdividen en tres compartimientos prismáticos, de los cuales se generan tres probetas. Las dimensiones internas de cada uno de los compartimientos son 4 x 4 x 16 cm.

PREPARACIÓN.

El molde se cubrirá interiormente con una delgada capa de aceite. Se introducirá en cada uno de los compartimientos una primera capa de alrededor de la mitad de la altura, directamente desde el mezclador. Una vez realizado esto se procede a compactarlo mediante 60 golpe, que corresponde a dejar caer el molde desde una altura de 1 cm. unas 60 veces. Se colocara una segunda capa de mortero la cual se compactara en la misma forma y finalmente se enrasara con la arista de una regla metálica.

Después de 3 días las probetas se desmoldaran y se sumergirán en la piscina de fraguado del laboratorio LEMCO.

Las probetas se sacarán del agua menos de 15 min. antes del ensayo. Si es necesario para satisfacer esta condición, las probetas se transportan a las maquinas de ensayo en un recipiente lleno de agua.

Los resultados de los ensayos se ven reflejados en la siguiente tabla:

EDAD (dias)	N° DE PROBETA	MASA (gr)	COMPRESIÓN (kg/cm2)	COMPRESIÓN PROMEDIO	FLEXOTRAC. (kg/cm2)	FLEXOTRAC. PROMEDIO
7	1	528	156	157	40	40
			158			
14	2	529	211	207	59	59
			204			
28	3	539	248	252	60	60
			259			