



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE CERCHAS DE FERROCEMENTO

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA
SR. HERNÁN ARNÉS VALENCIA
Constructor Civil
Ingeniero Civil U. C.

JORGE ALFREDO MAS MARAGAÑO

VALDIVIA - CHILE

2006

AGRADECIMIENTOS

Mis más infinitos agradecimientos a mis padres Alfredo y Carmen, a mi abuelito Alfonso (Q.E.P.D.), ya que sin ellos no hubiera sido posible este anhelado desafío.

A mi profesor guía, Don Hernán Arnés Valencia, por su colaboración y apoyo para realizar esta tesis.

Al profesor Sr. José Arrey Díaz, quien facilitó las dependencias e instrumentos para llevar a cabo la construcción de la estructura.

Debo agradecer también al Sr. César Zumelzu Báez (Ready-Mix, planta Valdivia), por las donaciones hechas.

A mi amigo Mauricio Alvarado, personal del L.E.M.C.O. por toda la ayuda prestada.

Agradezco en general a todas las personas que de una u otra forma colaboraron desinteresadamente en la realización de esta tesis.

RESUMEN

En la presente tesis se estudió el comportamiento de perfiles de ferrocemento en una cercha.

Para ello se diseñó, fabricó y ensayó una cercha de 8,0 metros de largo y una altura de 1,8 metros, formada por perfiles angulares de 2L100/100/12 en los cordones superior e inferior, y 2L 50/50/12 en los diagonales y montantes.

A esta cercha se le aplican cargas con una prensa hidráulica, a través de una estructura metálica, de tal forma que la estructura reciba las cargas de forma puntual.

Del ensayo se concluye que es posible construir perfiles de pequeñas dimensiones, tomando ciertas precauciones en las uniones.

Otro punto importante a considerar es el costo de fabricación, resultando ser más económicas las perfilerías de ferrocemento, siempre que estas se construyan de manera industrializada.

SUMMARY

In this present thesis, the behavior of profiles of ferrocement in a truss was studied.

For this reason a truss of 8,0 meters long and 1,8 meters high was design, made and formed by angular profiles of 2L 100/100/12 in the top and bottom chords and 2L 50/50/12 in the diagonals and post.

Loads with a hydraulic press are applied to this truss through a metallic structure, so that the structure receives the loads in a precise form.

From this test, it is concluded that it is possible to build profiles of small dimensions, taking certain precautions in the joints.

Another important issue to consider is the manufacture cost, being the profile of ferrocement the cheapest, as these are constructed in an industrialized way.

INDICE

Página.

Resumen
Introducción
Objetivos

CAPITULO I. FERROCEMENTO

1.1	Generalidades	01
1.2	Materiales utilizados para la fabricación	01
1.2.1	Cemento	01
1.2.2	Áridos	01
1.2.3	Agua	03
1.2.3.4	Requisitos	03
1.2.4	Aditivos	05
1.3	Tipos de refuerzos empleados en ferrocemento	06
1.3.1	Características	06
1.4	Requerimientos para el diseño de elementos de ferrocemento	09
1.5	Propiedades mecánicas del ferrocemento	10
1.6	Parámetros del comportamiento mecánico	10
1.6.1	Volumen de refuerzo	10
1.6.2	Superficie específica de refuerzo	11
1.6.3	Comportamiento en tracción	11
1.6.4	Comportamiento en flexión	12
1.6.5	Comportamiento en compresión	12
1.6.6	Resistencia al fuego	12
1.6.7	Resistencia al impacto	12
1.6.8	Durabilidad y corrosión	12

CAPITULO II. DISEÑO Y CALCULO DE LA CERCHA DE FERROCEMENTO.

2.1	Introducción	14
2.2	Criterios para el diseño	14

2.3	Hipótesis de cálculo	17
2.4	Método de cálculo	17
2.5	Cargas de diseño y combinaciones de carga	18
2.6	Cálculo de los pernos conectores	26

CAPITULO III.

PREPARACIÓN DE LOS PERFILES DE FERROCEMENTO.

3.1	Introducción	32
3.2	Descripción	32
3.2.1	Preparación de moldajes	32
3.2.2	Preparación de armadura	33
3.2.3	Preparación del mortero	35

CAPITULO IV.

CONSTRUCCION Y ARMADO DE LA CERCHA DE FERROCEMENTO.

4.1	Introducción	42
4.2	Herramientas utilizadas para la ejecución	42
4.3	Procedimiento de trabajo	43

CAPITULO V.

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL ENSAYO EFECTUADO A LA CERCHA.

5.1	Introducción	48
5.2	Definición del ensayo	48
5.3	Personal necesario para el ensayo	48
5.4	Tareas previas al ensayo	49
5.5	Equipos e instrumentos utilizados para el ensayo	50

CAPITULO VI.

ANÁLISIS DE COMPARACIÓN DE COSTOS.

6.1	Costos de fabricación	52
-----	-----------------------	----

CAPITULO VII.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

7.1	Consideraciones adoptadas	54
7.2	Resultados experimentales	55

7.3	Análisis de datos	56
-----	-------------------	----

CAPITULO VIII.

CONCLUSIONES.

8.1	Conclusiones generales	61
8.2	Conclusiones específicas	61

ANEXOS.

Anexo I.	Espec. Técnicas de los materiales utilizados	63
	1.1 Cemento	63
	1.2 Arena	64
	1.3 Aditivos	65
	1.4 Refuerzos	66
Anexo II	Dosificación del mortero	70
Anexo III	Solicitaciones de los elementos	75

Bibliografía		101
--------------	--	-----

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han llevado a cabo en todo el mundo numerosos estudios teóricos y experimentales sobre las diferentes propiedades del FERROCEMENTO, y la manera eficiente de explorar sus potenciales campos de aplicación.

El Ferrocemento se considera una alternativa versátil de material compuesto, hecho de mortero de cemento y reforzado con una o más capas de malla de alambre, ligado internamente para crear una estructura rígida. Este material es una forma especial de mortero reforzado común.

Una de las características del sistema son sus múltiples aplicaciones en obras de edificación y marítimas, debido a sus características mecánicas, tales como su resistencia al impacto y gran resistencia a la rotura.

Con esta tesis se quiere mostrar un nuevo uso del Ferrocemento consistente en elaborar perfiles angulares.

Analizar su comportamiento estructural, y ver si es factible la competencia económica con otro material como el acero.

OBJETIVOS

Objetivos Generales.

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo diseñar y elaborar una cercha con perfiles angulares de Ferrocemento, con el objeto de someterla a un ensayo de laboratorio y poder realizar un análisis de su comportamiento.

Objetivos Específicos.

- Determinar la resistencia de la cercha, sometida a cargas puntuales, hasta que aparezcan las primeras fisuras.
- Analizar las fallas, y así proponer soluciones para futuras construcciones.
- Desarrollar nuevas alternativas de materiales de construcción, en este tipo de estructuras.
- Comparar y analizar económicamente la factibilidad de uso de este material en este tipo de elementos estructurales.

CAPITULO I

FERROCEMENTO.

1.1. Generalidades.

El ferrocemento se considera una alternativa versátil de material compuesto. Esta hecho de mortero de cemento, y de capas de malla de alambre, en un emparrillado de acero de pequeño diámetro, ligado internamente para crear una estructura rígida.

Este material es una forma especial de mortero reforzado común. También se le ha llamado como una forma de microhormigón armado.

1.2. Materiales utilizados para la fabricación.

1.2.1. Cemento.

El cemento utilizado para la fabricación de los elementos de ferrocemento es del tipo Portland de alta resistencia o en su grado corriente. También se puede usar para su fabricación otros tipos de cemento Portland como son los cementos siderúrgicos y puzolánicos, que son aquellos a los que se le ha adicionado cenizas volantes con escorias o puzolanas respectivamente. Serán utilizados si es que se necesita una alta resistencia a temprana edad o una buena resistencia al ataque de sulfatos.

1.2.2. Áridos.

El tipo de árido utilizado en la construcción de los elementos de ferrocemento es arena cuya principal característica consiste en que estas sean de tamaño máximo de grano debe ser tal que el 100% del árido pase por la malla N° 8, que corresponde a 2,38 mm.

Es fundamental contar con un abastecimiento de áridos de calidad homogénea. Toda variación en la calidad del árido será transmitida directamente al mortero.

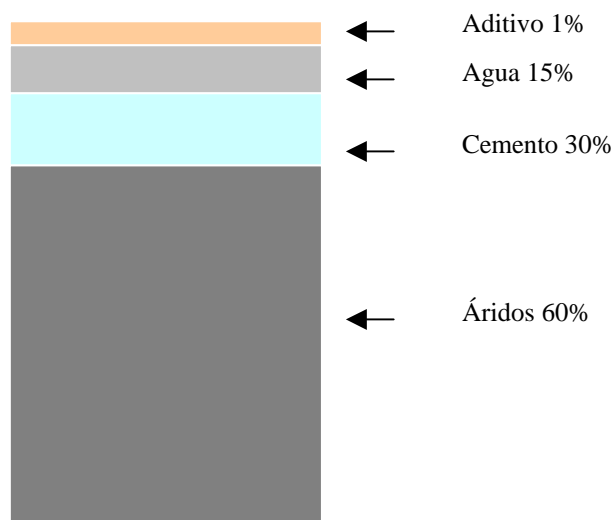
En general los áridos utilizados para la fabricación de morteros deben cumplir lo señalado en su definición: deben estar compuestos por partículas duras, limpias, de forma y tamaño estables. La Norma Chilena NCh 163 “Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales” especifica estos requerimientos básicos, además deben ser de procedencia conocida y que hayan demostrado buen comportamiento en hormigones.

Los áridos deben conformar el esqueleto o estructura base del mortero. En cada unidad volumétrica de mortero debe existir la mayor cantidad posible de áridos y con el mayor tamaño compatible con los demás requisitos que deba cumplir la mezcla. De esta forma se obtendrá el mortero más estable y económico.

A pesar de ser considerados como un verdadero relleno o “agregado” para el mortero, nunca debemos menospreciar la importancia de los áridos. Sus características, buenas o malas, incidirán directamente en el mortero. Normalmente, ocupan alrededor de un 60% del volumen total del mortero, y por lo tanto, es fácil entender su importancia relativa. (ver fig. No 1).

COMPOSICIÓN DEL MORTERO

fig. No 1



Otros ensayos a que se somete la arena, son el porcentaje de material fino (menor a 0.08 mm.), absorción e impurezas orgánicas, porcentaje de huecos, densidad aparente y real.

En la tabla No 1 se muestra la granulometría exigida.

Tabla No 1

Abertura de malla (mm)	Tamiz (Nº)	Porcentaje que pasa en Peso (%)
2.38	8	100
1.19	16	70-100
0.59	30	45-70
0.297	50	24-45
0.149	100	5-15

1.2.3. Agua.

El agua de amasado o agua libre es el agua contenida en el mortero, descontada el agua absorbida por los áridos.

El agua de amasado cumple dos roles fundamentales:

1. Hidratar al cemento para formar una pasta que pueda fraguar y posteriormente endurecer, convirtiéndose en el cementante requerido para unir las partículas de áridos. En forma sencilla, podemos considerar al cemento como un pegamento en polvo que requiere agua de mezcla para ser usado. La cantidad de agua necesaria para “activar” químicamente al cemento es aproximadamente un 28 % de su peso. Es decir, se necesitan como mínimo unos 28 litros de agua para hidratar por completo 100 kg de cemento. Sin embargo, si usamos esta cantidad de agua, la mezcla resultaría extremadamente seca y no manejable en obra (trabajable).
2. Otorgar trabajabilidad o fluidez a la mezcla para que pueda ser utilizado en obra. La cantidad de agua necesaria para esta función es adicional a la requerida para combinarse químicamente con el cemento.

1.2.3.4. Requisitos.

Los requisitos de calidad o composición química que debe cumplir el agua de amasado se establecen en la Norma Chilena NCh 1498.

Esta Norma especifica requisitos a los valores de pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, materia orgánica, cloruros y sulfatos solubles presentes en el

agua de amasado; establece que el agua potable será siempre apta para la confección de morteros; no permite el uso de agua que contenga azúcares (sacarosa, glucosa o similares) y acepta el uso de agua de mar solamente en hormigones simples (sin armaduras) de grado inferior a H-15 (150 kg/cm^2).

Experiencia basadas en análisis y uso exitoso de agua proveniente de diversos ríos, pozos y napas a lo largo de todo el país, muestra que rara vez la composición química del agua ocasiona problemas en la mezcla. Sin embargo, cuando el agua no sea potable o de fuente desconocida, debe verificarse su aptitud antes de utilizarla en la confección de morteros u hormigones.

Investigaciones y la experiencia han demostrado que el factor de mayor importancia en la resistencia del hormigón es el cuociente entre la cantidad de agua de amasado y la de cemento (Ley de Abrams, 1919). Este cuociente se denomina relación Agua/Cemento (abreviada A/C) y se expresa como fracción en peso de los materiales. Para un tipo de cemento, a menor relación A/C mayor resistencia, ver fig. No 2.

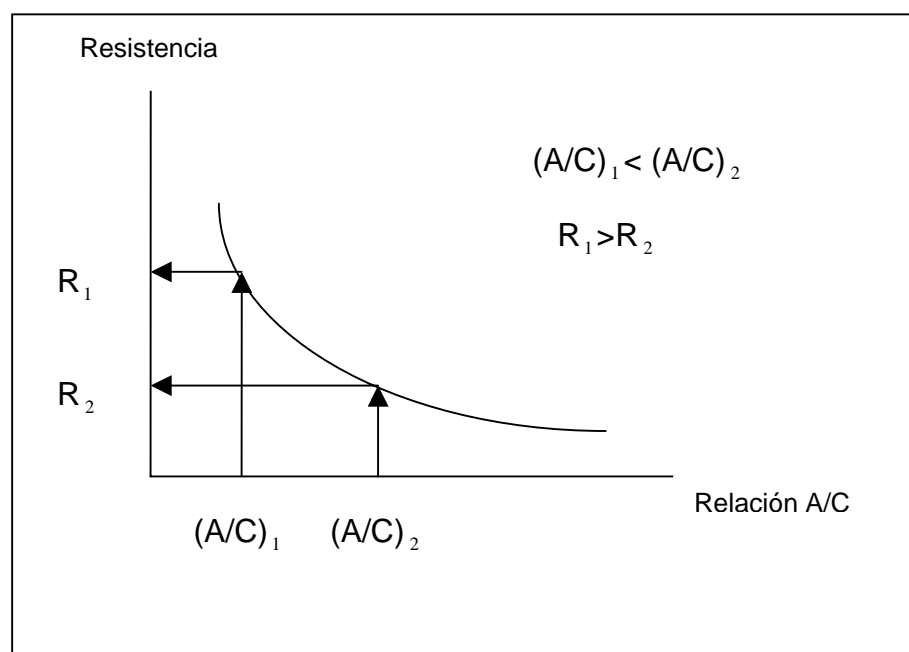


fig. No 2
Gráfico resistencia v/s relación (A/C)

Además, se ha determinado que la resistencia del hormigón sigue dependiendo principalmente de la relación A/C, incluso ante variaciones en sus componentes

(proporción de áridos, dosis de cemento o agua), siempre que los áridos sean de calidad, la mezcla sea plástica, trabajable y no presente segregación.

Resumen requisitos NCh 1498.

Tabla No 2. Requisitos químicos básicos según NCh 1498.

Requisito químico	Unidad	Valor Límite	Norma ensayo
Valor de pH	-	6 a 9.2	NCh143
Sólidos en suspensión	mg/litro	≤ 2 000	NCh416
Sólidos disueltos	mg/litro	≤ 15 000	NCh416
Materia orgánica (como oxígeno consumido)	mg/litro	≤ 5	NCh148 Anexo B

Tabla No 3. Requisitos químicos complementarios según NCh 1498.

Requisito químico	Unidad	Valor Límite	Norma ensayo
Cloruros			
a) Hormigón armado	kg Cl ⁻ /m ³ Hormigón	1.20	NCh148 Anexo C
b) Hormigón pretensado	kg Cl ⁻ /m ³ hormigón	0.25	NCh148 Anexo C
Sulfatos solubles en agua. Para todo hormigón	kg SO ₄ ⁻² /m ³ hormigón	0.60	NCh420

Notas:

a) Puede emplearse agua de calidad y origen desconocido, siempre que se cumplan los requisitos de la tabla No 2. Si el contenido de sólidos disueltos resulta mayor que 5.000 mg/litro, el agua además debe cumplir con la tabla No 3.

b) El contenido de ion cloruro (Cl⁻) y ion sulfato (SO₄⁻²) se refiere al total aportado por todos los ingredientes en la masa de hormigón (agua, áridos y aditivos).

1.2.4. Aditivos.

Son productos que se utilizan para modificar algunas de las propiedades del mortero fresco, como trabajabilidad, tiempo de fraguado, cohesión, etc., y algunas propiedades del mortero endurecido como durabilidad, impermeabilidad, etc.

Los aditivos plastificantes y los superplastificantes son utilizados generalmente para dar al mortero una mayor trabajabilidad o para reducir la cantidad de agua de

amasado. Al reducir el agua se obtiene un mortero con mejores características de resistencias mecánicas, impermeabilidad y durabilidad.

En el caso del ferrocemento, es muy importante utilizar aditivos para reducir o evitar la corrosión galvánica producida por el contacto permanente entre dos metales diferentes.

1.3. Tipos de Refuerzos empleados en Ferrocemento.

1.3.1. Características.

La función del refuerzo en el ferrocemento es absorber los esfuerzos de tracción que el mortero solo no sería capaz de soportar. El comportamiento del ferrocemento depende en gran medida del tipo, cantidad, orientación y resistencia del refuerzo.

El refuerzo empleado en el ferrocemento puede ser dividido en dos clases: armadura difusa constituida por telas de mallas de alambre y poco espaciadas entre sí y armadura discreta constituida por barras de acero de pequeño diámetro sobre las cuales se coloca la armadura difusa.

a) Armadura Difusa.

Malla de Alambre tejida Hexagonal.

Conocida comúnmente como malla de gallinero, es fabricado con alambre galvanizado especial. Esta malla se fabrica entrelazando alambres galvanizados formando mallas hexagonales.

Los pequeños diámetros que se utilizan (\leq al alambre No 22) le confiere a la malla una gran flexibilidad, por ende casi en todas en todas las aplicaciones esta malla requiere de un esqueleto de armadura discreta.

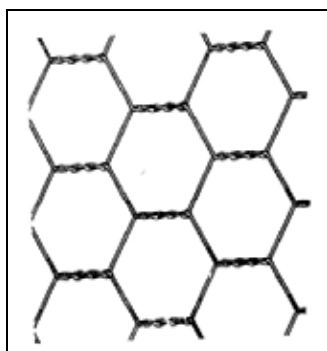


fig. No 3

Malla de alambre tejida Cuadrada.

Esta malla está elaborada con alambres de acero galvanizados, tejida ortogonalmente, formando cuadrados continuos, los cuales constituyen la abertura de la malla. El uso de esta malla es un poco más difícil, pues exige cuidados al momento de colocarla a una determinada forma.

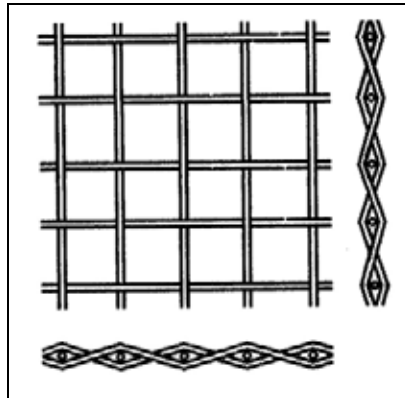


fig. No 4

Malla Soldada.

Esta malla está conformada con alambres galvanizados, soldados ortogonalmente en todos los cruces, formando cuadrados o rectángulos continuos, las cuales constituyen la abertura de la malla.

Por ser más rígida, la tela de malla soldada presenta desventajas en el manejo de superficies curvas, generalmente no requiere de armadura discreta.

Por la conformación de esta malla, es utilizada como refuerzo estructural en la producción de piezas prefabricadas de ferrocemento.

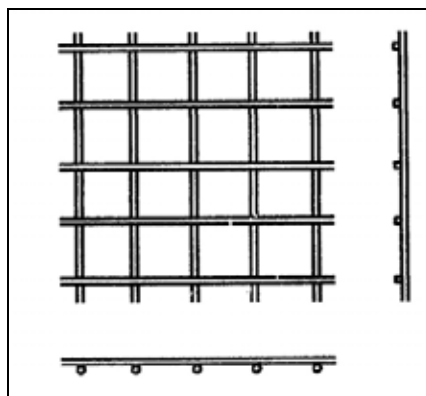


fig. No 5

Malla de metal desplegado.

Este tipo de malla, se obtiene del proceso de corte y expansión de finas láminas metálicas, que posteriormente se expanden formando aberturas en forma de rombos, los cuales constituyen la abertura de la malla.

Debido a su forma, este tipo de mallas presenta dos tipos de resistencias: una en la dirección a los cortes (dirección perpendicular al despliegue), la cual presenta una resistencia equivalente a la malla soldada, y la otra en la dirección normal al corte, la que presenta una menor resistencia.

Por lo anterior no es recomendable en estructuras que presentan sollicitaciones bidireccionales, a menos que se tomen medidas, como la colocación de mallas con orientación alternada.

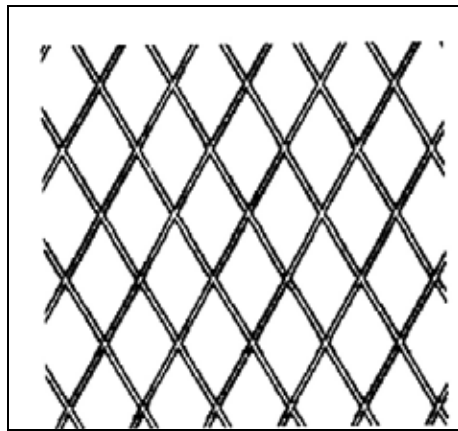


fig. No 6

Malla Watson.

Este tipo de malla consiste en la combinación de alambres rectos de alta resistencia y en un alambre ondulado colocado de manera transversal, con lo cual se mantiene en posición estos alambres. Los alambres de alta resistencia están colocados en dos niveles paralelos uno al lado del otro.

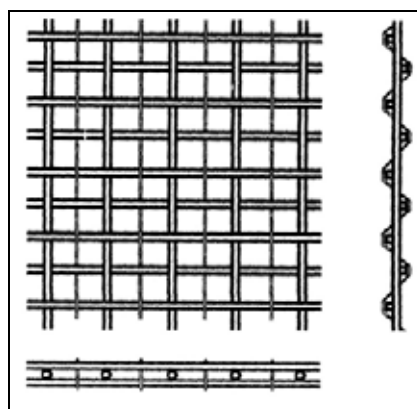


fig. No 7

Armadura discreta.

Armadura de esqueleto.

El refuerzo utilizado generalmente es llamado armadura de esqueleto, pues es el que conforma el reticulado sobre el cual se colocan las telas de mallas, están constituidas por barras de acero dulce de diámetro entre 4 y 12 mm.

Estas armaduras son soldadas o amarradas entre sí, formando el elemento requerido de ferrocemento.

Armadura Suplementaria.

La armadura suplementaria tiene función estructural, actuando en conjunto con las mallas de alambres. Siempre que sea posible se debe diseñar con el menor diámetro posible para así mejorar el comportamiento del ferrocemento en cuanto a su configuración.

1.4. Requerimientos para el Diseño de elementos de Ferrocemento.

Una de las particularidades del ferrocemento es el pequeño espesor de los elementos, que en general no debe superar los 50 mm. (aprox. 2 pulgadas).

Para el diseño de un determinado elemento de ferrocemento, de espesor **e**, la abertura **S** recomendada de la malla de refuerzo, no debe ser mayor que el espesor **e**. Esta recomendación se debe a que el ferrocemento no tiene estribos para resistir los esfuerzos de corte, por ende, deberá contar con refuerzos bien distribuidos.

La abertura de la malla de refuerzo que se encuentran en el mercado nacional limitará el espesor del elemento. El número de capas de malla **N** con respecto al espesor **e** debe tal que, $N \geq 0,16 e$.

Con respecto al recubrimiento **d** de la malla de refuerzo, este debe ser de 3 a 4 mm. aproximadamente, sin embargo se pueden utilizar recubrimientos menores siempre que el acero a utilizar sea acero galvanizado, y además la superficie este protegida por algún impermeabilizante. Para espesores mayores a 12 mm. se

recomienda un recubrimiento para la malla de máximo $1/5 e$, con esto se asegura una adecuada distribución de las capas de mallas en el espesor del elemento.

1.5. Propiedades Mecánicas del Ferrocemento.

La no existencia de normas internacionales para la realización de ensayos no permite en general, establecer valores de diseño para la diversidad de métodos, equipos y dimensiones de las probetas. Sin embargo con las investigaciones que hasta ahora se han realizado, es posible determinar un rango de valores que pueden utilizarse como criterio al momento de diseñar.

Una de las características del ferrocemento, es que este contiene una gran cantidad de refuerzos en dos direcciones, que le dan al mortero una gran elasticidad, capacidad de tracción y resistencia a la rotura. Estas características se deben a la extrema subdivisión y distribución del refuerzo.

El mortero situado en las cercanías del refuerzo, es capaz de soportar amplias deformaciones sin la aparición de grandes fisuras.

El ferrocemento es un material que se constituye de componentes similares a la del concreto reforzado; sin embargo, su capacidad de tracción, resistencia al impacto, y resistencia a la fisuración son superiores a la del concreto reforzado, esto debido a lo explicado anteriormente.

1.6. Parámetros de comportamiento Mecánico.

1.6.1. Volumen de Refuerzo (V_r).

Se define como el total de volumen de refuerzo por unidad de volumen del compuesto. El volumen total de acero de refuerzo, no debe ser menor a un 1,8% en dirección longitudinal y en dirección transversal, como tampoco mayor a un 6,5%.

En caso que existan elementos que estén compuestos por armadura discreta y difusa, ambas se deben sumar.

1.6.2. Superficie específica de Refuerzo (Sr).

Se define como la superficie adherida del refuerzo o área total de adherencia del refuerzo por unidad de volumen del compuesto.

La superficie específica del acero de refuerzo en ningún caso debe ser menor a $0,8 \text{ cm}^{-1}$, tanto en dirección longitudinal y transversal, ni superior a 3 cm^{-1} .

1.6.3. Comportamiento en Tracción.

Mediante la acción de en un ensayo monoaxial a tracción de una probeta de ferrocemento se observan las etapas de comportamiento, resultado de esto se obtiene la curva Esfuerzo – Deformación.

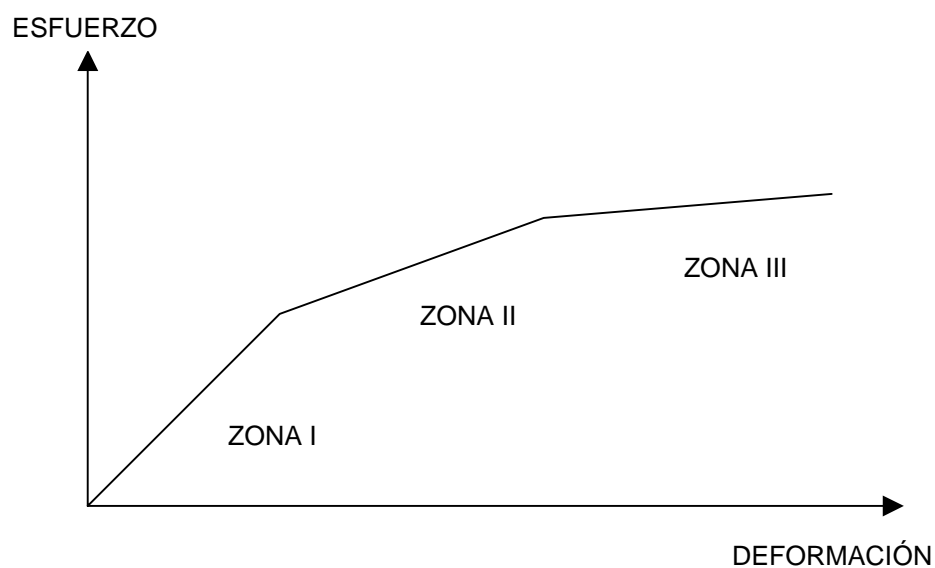


fig. No 8
Gráfico esfuerzo-deformación

Zona I. En esta zona se observa un comportamiento elástico, la curva de esfuerzo-deformación es lineal, se presentan deformaciones elásticas del conjunto armadura y mortero, hasta la aparición de la primera grieta de este último.

Zona II. En esta zona de la curva se producen las primeras grietas múltiples en el mortero, debido al aumento de las cargas, aumentando gradualmente la tracción en la armadura, y disminuyendo paulatinamente la contribución del mortero.

Zona III. En esta etapa se produce un aumento en el ancho de las grietas, con lo que posteriormente el refuerzo toma todo el esfuerzo de tracción.

1.6.4. Comportamiento en Flexión.

Los factores que rigen la resistencia de los elementos sometidos a flexión, es la acción recíproca entre el acero de refuerzo y el mortero a compresión, de la misma forma que actúan en el concreto reforzado. Se ha demostrado mediante análisis de regresión lineal, que los cálculos de resistencias del ferrocemento, se someten a las mismas normas del concreto reforzado.

1.6.5. Comportamiento en Compresión.

En el comportamiento en compresión del ferrocemento, el mortero es el que contribuye directamente a recibir los esfuerzos de compresión, directamente proporcional a su sección transversal. Como ya se ha señalado anteriormente la resistencia del mortero esta dada por la relación A/C , pero además un factor importante es la orientación y forma de ordenar los refuerzos.

Cuando el refuerzo es colocado en un solo plano, el cual debe ser paralelo a la aplicación de las cargas, no se deberían observar efectos en la curva Esfuerzo-Deformación, como tampoco el módulo de elasticidad debería presentar variaciones.

1.6.6. Resistencia al Fuego.

Respecto a la resistencia al fuego se puede señalar independientemente este o no agrietado, una limitada resistencia al fuego, producto al delgado espesor de los elementos, y además al pequeño recubrimiento dado al refuerzo.

1.6.7. Resistencia al Impacto.

Las características del ferrocemento lo hacen dar resultados óptimos en cuanto a las pruebas de impacto, debido a que el sistema de barras de acero intermedias desempeña un papel importante al colaborar con la superficie específica.

1.6.8. Durabilidad y Corrosión.

Aunque la mayoría de las medidas requeridas para garantizar la durabilidad del concreto reforzado convencional son de aplicación en el ferrocemento, existen otros factores que pueden afectar la durabilidad son únicos del ferrocemento.

Primero, el recubrimiento que se le da al refuerzo es muy pequeño, por lo que los elementos corrosivos pueden llegar a las mallas de refuerzo con relativa facilidad. Segundo, el área superficial del acero de refuerzo es mucho mayor que en el concreto reforzado, por lo que el área sobre la que puede actuar la corrosión es alta, y por último aunque la gran mayoría del refuerzo del ferrocemento es galvanizado, con el especial objeto de prevenir la corrosión, este recubrimiento de zinc puede tener cierto efecto perjudicial; al reaccionar con otros refuerzos, generando burbujas de gas.

La importancia de estos tres factores variará dependiendo de las condiciones ambientales en que se encuentre el elemento. Sin embargo, a pesar de estos factores desfavorables con respecto al concreto reforzado, no hay mayor información por problemas corrosión en el ferrocemento, excepto en aquellos casos que se relacionan directamente con una inadecuada colocación del mortero o una mala compactación de este, ya que el ferrocemento bien construido tiene relativamente baja permeabilidad.

CAPITULO II

DISEÑO Y CALCULO DE LA CERCHA DE FERROCEMENTO.

2.1. INTRODUCCION.

En la actualidad no existen normas de diseño para el ferrocemento, por lo que cualquier recomendación relacionada con el diseño de estructuras de ferrocemento dependerá del tipo de aplicación y deberá estar basada en un análisis racional.

2.2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO.

Teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento sobre el ferrocemento, se tomarán las siguientes recomendaciones de diseño, para así obtener una estructura que garantice una seguridad de trabajo en ella.

Para diseñar la cercha se tomará en cuenta que va a ser utilizada para una estructura de techumbre de un galpón.

- a) Se tomará el diagrama simplificado para la curva σ v/s ϵ en el acero, ver fig. No 9.

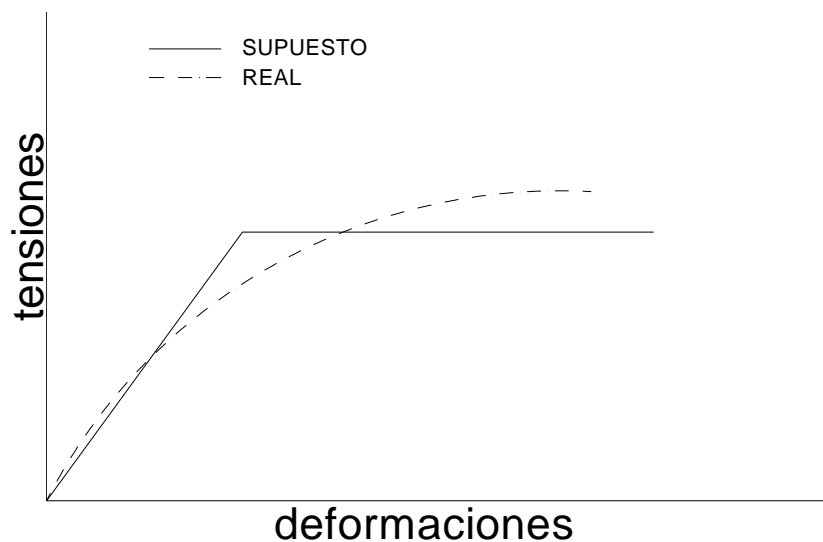


fig. No 9. Curva σ v/s ϵ de las telas de malla.

- b) La fracción de volumen de refuerzo V_f (relación volumen de acero/volumen de mortero) en ambas direcciones, no debe ser menor que 1,8%. La superficie específica total del refuerzo S_r (relación entre el área superficial del acero y el volumen de mortero) no debe ser menor que $0,8 \text{ cm}^{-1}$.
- c) El recubrimiento mínimo neto recomendado para el refuerzo es de alrededor de 3 a 4 mm. Sin embargo, un valor menor puede ser usado si se prevé que el acero sea galvanizado, la superficie sea protegida y el ancho de la grieta esté limitado a un valor bajo.

Se recomienda que para espesores mayores de 12 mm. el recubrimiento neto no deba exceder de $1/5$ del espesor o 5 mm., para asegurar una apropiada distribución de la malla en todo el espesor. Sin embargo el recubrimiento estará dado en primera instancia por el medio ambiente existente, por lo que se recomienda en general lo siguiente:

- Para ambiente protegido 3 mm.
- Para ambiente expuesto 4 mm.
- Para ambiente agresivo 5 mm.
- Para ambiente muy agresivo 6 mm.

- d) Para un elemento dado en ferrocemento (sin refuerzo de esqueleto) de espesor t , la abertura de la malla S no debe ser mayor que t .

Si se utiliza refuerzo de esqueleto es recomendable que este no ocupe más del 50% del espesor del material.

- e) Si se utiliza el método de diseño elástico, los esfuerzos admisibles para los materiales constitutivos y para el conjunto, tienen que ser especificados. Las tensiones admisibles de tracción en el acero esta dado por:

$$\sigma_{adm.} = 0,60 f_y \quad , \quad \text{donde } f_y \text{ es la tensión en el límite elástico.}$$

- f) Para elementos de ferrocemento sometidos a tracción, una tensión admisible de 5 Mpa (50 kgf/cm²) se puede utilizar como una primera aproximación para determinar el espesor t requerido por el elemento si se usa mallas cuadradas soldadas, si es hexagonal se recomienda una tensión de 3,5 Mpa (35 kgf/cm²).
- g) El esfuerzo de compresión admisible en el elemento puede ser tomado como $0,45 f_c$, donde f_c es la resistencia de compresión del mortero.
- h) Aunque el diseño de estructuras de ferrocemento está a menudo basado en limitaciones a los esfuerzos o criterios de resistencias, el concepto de serviciabilidad aceptable bajo carga de servicios durante la vida útil de la estructura, se está haciendo común.

La serviciabilidad en estructuras de hormigón se relaciona a menudo con el comportamiento al agrietamiento y ancho de grietas. El término resistencia de la primera grieta aparece frecuentemente en la literatura en el comportamiento del ferrocemento a la tracción y a la flexión, pero su uso sin una clara definición sobre qué se entiende por primera grieta es desafortunado, pues se entiende por grietas desde 0,005 mm. hasta la grieta visible de 0,03 - 0,01 mm. En lo que sí hay acuerdo, independientemente de la definición es que en tracción directa y en flexión, la resistencia al agrietamiento se incrementa con la superficie específica del acero en la dirección cargada. En el caso de flexión la superficie específica se refiere a la correspondiente a la zona traccionada solamente.

Se recomienda que el valor máximo del ancho de la grieta deba ser menor de 100 μ (0,100 mm.) para ambiente no corrosivo y de 50 μ (0,05 mm.) para ambiente corrosivo.

El módulo de elasticidad del mortero a la compresión E'_m y a la tracción E_m se toma generalmente 0,8 del de hormigón. El módulo de deformación transversal (coeficiente de Poisson) se admite igual a 0,2 y el módulo de cizalle G igual a $0,4 E'_m$.⁽¹⁾

2.3. HIPOTESIS DE CALCULO.

Los elementos que constituyen la cercha, estarán sometidos a esfuerzos de tracción y otros a compresión, por lo que se considerarán las siguientes hipótesis:

- Se considera el ferrocemento como un material homogéneo e isotrópico, aún después de agrietado.
- El ferrocemento, como un todo, resiste tracciones.
- El material sometido a tracción y compresión sigue la ley de Hooke.
- Una sección plana antes de aplicarse la carga, permanece plana después de la carga.
- Los esfuerzos internos permanecen en equilibrio.
- La deformación de la fibra es aproximadamente igual a la deformación del mortero que la rodea.
- La contribución del mortero a la tracción es nula.

2.4. METODO DE CALCULO.

El método de diseño a utilizar será el Método de tensiones admisibles ⁽¹⁾.

Las tensiones admisibles de tracción en el acero esta dado por:

$$\sigma_{adm.} = 0,60 f_y \quad , \quad \text{donde } f_y \text{ es la tensión en el límite elástico.}$$

El esfuerzo de compresión admisible del mortero esta dado por:

$$\sigma_{adm.} = 0,45 f_c \quad , \quad \text{donde } f_c \text{ es la resistencia de compresión del mortero.}$$

2.5. CARGAS DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA.

Los estados de carga que se considera en el experimento son los siguientes:

- **Peso propio (PP):**

En este estado de carga se considera el peso de la cercha de ferrocemento, cubierta, entablado, costaneras, cielo, luces y otros.

Para efectos prácticos de cálculo se desprecia la malla hexagonal (malla de gallinero), en el peso propio de la cercha.

En las figuras siguientes se aprecia la geometría de ambos perfiles, para el cordón superior e inferior se utilizaron perfiles 2L 100/100/12, y en las montantes y diagonales se utilizaron perfiles 2L 50/50/12.

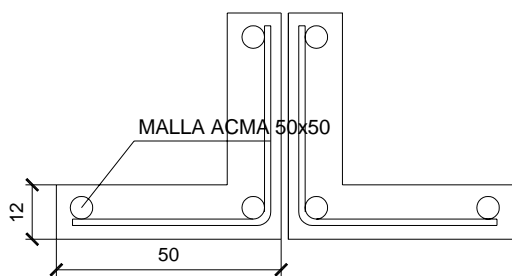


fig. No 10
Perfil 2L 50/50/12

Para el perfil 2L 50/50/12, la contribución de la malla Acma, se calcula de la siguiente manera: el volumen de la malla por su densidad. El diámetro de la sección de la malla utilizada es de 3,25 mm., cada perfil lleva longitudinalmente 6 barras y en la dirección transversal varía según la longitud de cada elemento.

El volumen se obtiene considerando la longitud total de las barras longitudinales más las barras transversales, multiplicando este valor por el área calculada, lo que da un valor de $1.387,8 \text{ cm}^3$.

Teniendo estos valores se calcula el peso total de la malla utilizada en los perfiles (montantes y diagonales).

Longitud total de barras longitudinales	:	10.032 cm
Longitud total de barras transversales	:	<u>6.688 cm</u>
L_{total}	:	16.720 cm

Área sección (A)	:	0,083 cm ²
Densidad (γ)	:	7,88 x 10 ⁻³ kg/cm ³
Volumen (V)	:	1.387,8 cm ³

Teniendo estos valores, se calcula el peso total de la malla utilizada en los perfiles angulares (montantes y diagonales).

$$P_{total} = \gamma \times V = 7,88 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 1.387,8 \text{ cm}^3 = 10,94 \text{ kg.}$$

Los perfiles 2L 100/100/12 se utilizaron para los cordones superiores e inferiores, los cálculos se realizan de manera similar al perfil anterior, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

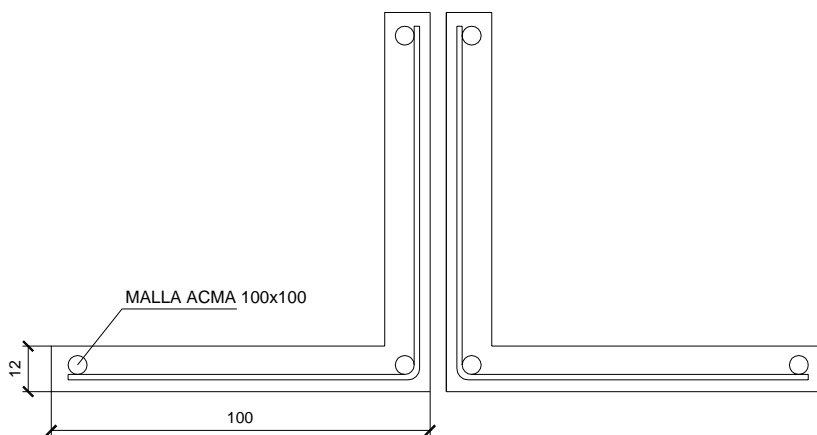


fig. No 11
Perfil 2L 100/100/12

Longitud total de barras longitudinales	:	10.068 cm
Longitud total de barras transversales	:	<u>6.712 cm</u>
L_{total}	:	16.780 cm
Area sección (A)	:	0,28 cm ²
Densidad (γ)	:	7,88 x 10 ⁻³ kg/cm ³
Volumen (V)	:	2.349,2 cm ³

Teniendo estos valores podemos calcular el peso total de la armadura utilizada en los perfiles (cordones superior e inferior).

$$P_{total} = \gamma \times V = 7,88 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 2.349,2 \text{ cm}^3 = 18,51 \text{ kg.}$$

Por lo tanto la contribución total de la malla de acero es de 29,45 Kg

La contribución del mortero se determina con respecto a las características de los materiales, mediante la siguiente formula:

$$\rho_{mortero} = \frac{f}{(f+c)} \times \rho_{arena} + \frac{c}{(f+c)} \times \rho_{cemento}$$

donde;

$\rho_{mortero}$: peso específico del mortero.

$\rho_{cemento}$: peso específico del cemento.

ρ_{arena} : peso específico de la arena.

c : proporción en peso de cemento.

f : proporción en peso de arena con respecto del cemento.

Nota: Los pesos específicos del cemento y arena se encuentran en el anexo II.

Reemplazando, se obtiene:

$$\rho_{mortero} = \frac{2}{3} \times 2,51 \times 10^{-3} + \frac{1}{3} \times 3 \times 10^{-3}$$
$$\rho_{mortero} = 2,673 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$$

Este valor multiplicado por el volumen de mortero se obtiene el $P_{mortero}$ en el ferrocemento.

$$P_{mortero} = 2,673 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times (111.024 - 3.737)$$

$$P_{mortero} = 286,77 \text{ kg.}$$

De esta manera se tiene el peso propio de la cercha:

$$PP_{cercha} = P_{mortero} + P_{acero} = 286,77 + 29,45$$

$$PP_{cercha} = 316,2 \text{ kg.}$$

Para el peso propio restante en el diseño, se estimaron los siguientes valores:

- Cubierta	:	5,0 kg/m ²
- Entablado	:	15,0 kg/m ²
- Costanera	:	11,0 kg/m ²
- Cielo	:	10,0 kg/m ²
- Luces y otros	:	3,0 kg/m ²
		<hr/>
Total	:	44,0 kg/m ²

La cercha diseñada tiene una longitud de 8,0 metros, y para efectos de cálculo se estima una distancia de 5,0 metros cada una de estas, por lo que el área tributaria es de 40,0 m², resultado de esto se obtiene $q_{cercha} = 7,90 \text{ kg/m}^2$.

En resumen:

$$q_{pp} = 7,90 + 44,0 = 51,90 \text{ kg/m}^2$$

- Cargas de Viento (V):

Los cálculos efectuados para la acción del viento se desarrollan de acuerdo Norma NCh 432 Of. 71, "Cálculo de la de la acción del viento sobre construcciones".

Para efectos de cálculo se considera que la cercha es utilizada en un galpón cerrado, en la ciudad.

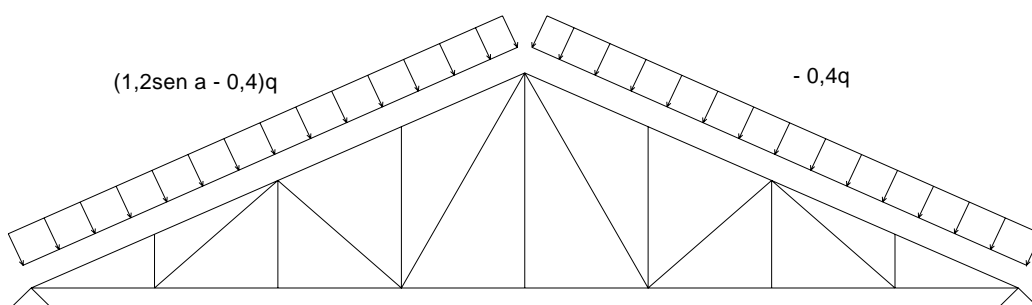


fig. No 12

De la tabla 1 de la norma NCh 432 Of. 71, se obtiene la presión básica del viento. Supondremos que la cercha se encontrara a una altura de 4,8 metros sobre el suelo.

Interpolando obtenemos que la presión básica es:

$$q = 61,47 \text{ kg/m}^2$$

La pendiente de la techumbre es:

$$\alpha = 24,2^\circ$$

El área tributaria para la techumbre es:

$$A_T = 20 \text{ m}^2$$

- Cálculo de fuerzas producidas por la presión básica del viento:

Barlovento:

$$q_1 = (1,2 \operatorname{sen} \alpha - 0,4) * q_{\text{basica}}$$

$$q_1 = (1,2 \operatorname{sen} 24,2^\circ - 0,4) * 61,47 = 5,65 \text{ kg/m}^2$$

Sotavento:

$$q_2 = 0,4 q_{\text{basica}}$$

$$q_2 = 0,4 * 61,47 = 24,59 \text{ kg/m}^2$$

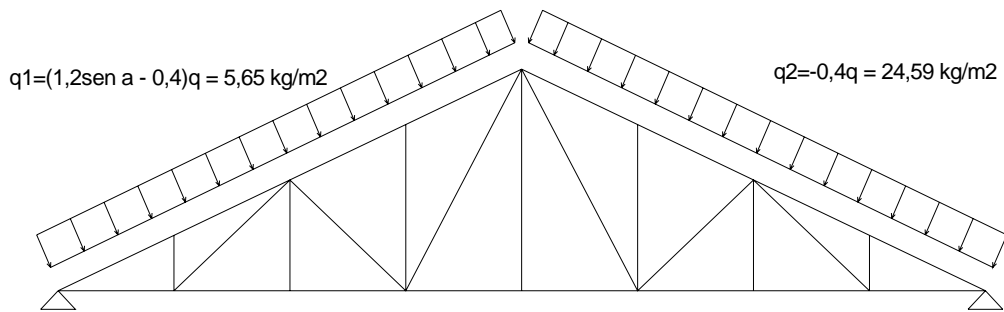


fig. No 13

teniendo q_1 y q_2 , se descomponen las cargas en los ejes x e y respectivamente:

Para q_1 :

$$q_y = \frac{1}{\cos 24,2} * 5 * 5,65 * \cos 24,2 = 28,25 \text{ kg.}$$

$$q_x = \frac{1}{\cos 24,2} * 5 * 5,65 * \sin 24,2 = 12,58 \text{ kg.}$$

Para q_2 :

$$q_y = \frac{1}{\cos 24,2} * 5 * 24,59 * \cos 24,2 = 123,0 \text{ kg.}$$

$$q_x = \frac{1}{\cos 24,2} * 5 * 24,59 * \sin 24,2 = 54,76 \text{ kg.}$$

- Sobrecargas (SC):

Las sobrecargas de uso se estimaron de acuerdo a la Norma NCh 1537.Of. 86, "Diseño estructural de edificios – Cargas permanentes y sobrecargas de uso".

En la tabla 1 de la Norma NCh 1537. Of. 86, se entrega el valor de la sobrecarga de uso para techos.

Para pendientes mayores o iguales a un 30% se considera una sobrecarga de 0,30 Kpa. (30 kg/m²).

COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones de carga a utilizar se definen en las siguientes expresiones:

$$C_1 = PP + SC$$

$$C_2 = 0,75 (PP + V)$$

$$C_3 = 0,75 (PP + SC+V)$$

donde:

PP = Peso propio o carga muerta.

SC = Sobrecargas de uso.

V = Cargas de debidas a la acción del viento.

Para obtener los esfuerzos de cada elemento de la cercha de ferrocemento, se utilizó el programa estructural, AVwin; los elementos más solicitados tanto a tracción y compresión, resultaron ser con la combinación de carga C_1 . En el anexo III se detalla en resumen los esfuerzos de cada elemento con las combinaciones de carga.

En la figura No 14 se observan las cargas de diseño correspondientes a la combinación C₁.

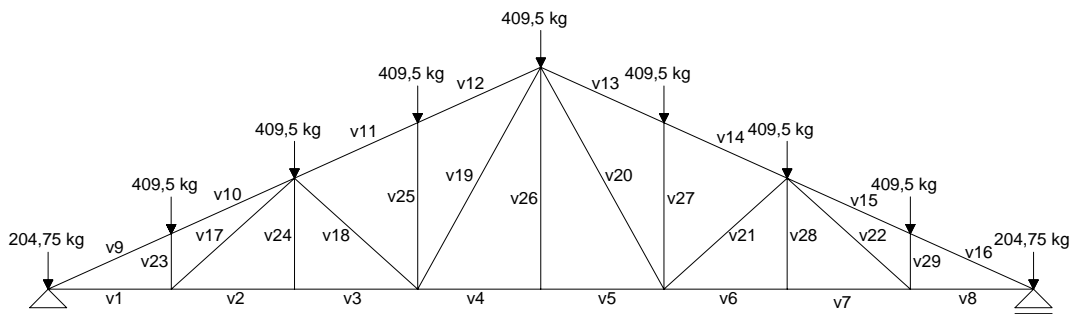


fig. No 14

De los perfiles utilizados se verificarán los más solicitados a tracción y a compresión.

Perfil 2L100x100x12

Esfuerzo a la tracción (F_t) (perfil V1) : 3.192 kg.

Área total sección del acero (A) : 1,68 cm²

Por lo que la tensión de trabajo a la tracción es:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = \frac{3.192}{1,68} = 1.900 \text{ kg/cm}^2$$

Las tensiones admisibles de tracción en el acero está dado por:

$\sigma_{adm.} = 0,60 f_y$, donde $f_y = 5.000 \text{ kg/cm}^2$, es la tensión en el límite elástico.

$$\sigma_{adm.} = 0,60 * 5.000 = 3.000 \text{ kg/cm}^2$$

Luego:

$$\sigma_t = 1.900 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm.} = 3.000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK.}$$

Esfuerzo a la compresión (F_c) (perfil V10) : 3.499,92 kg.

Area total sección del mortero (A) : 45,12 cm²

Por lo que la tensión de trabajo a la compresión es:

$$\sigma_t = \frac{F_c}{A} = \frac{3.499,92}{45,12} = 77,57 \text{ kg/cm}^2$$

Las tensiones admisibles de compresión del mortero esta dado por:

$\sigma_{adm.} = 0,45 f_c$, donde $f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$, resistencia de compresión del mortero. $\sigma_{adm.} = 0,45 * 180 = 81 \text{ kg/cm}^2$

Luego:

$$\sigma_t = 77,57 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm.} = 81 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK.}$$

Perfil 2L50x50x12

Esfuerzo a la tracción (F_t) (perfil V17) : 618,02 kg.

Area total sección del acero (A) : 0,50 cm²

Por lo que la tensión de trabajo a la tracción es:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = \frac{618,02}{0,50} = 1.236 \text{ kg/cm}^2$$

Las tensiones admisibles de tracción en el acero esta dado por:

$\sigma_{adm.} = 0,60 f_y$, donde $f_y = 5.000 \text{ kg/cm}^2$, es la tensión en el límite elástico.

$$\sigma_{adm.} = 0,60 * 5.000 = 3.000 \text{ kg/cm}^2$$

Luego:

$$\sigma_t = 1.236 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm.} = 3.000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK.}$$

Esfuerzo a la compresión (F_c) (perfil V18) : 613,41 kg.

Área total sección del mortero (A) : 21,12 cm²

Por lo que la tensión de trabajo a la compresión es:

$$\sigma_t = \frac{F_c}{A} = \frac{613,41}{21,12} = 29,04 \text{ kg/cm}^2$$

Las tensiones admisibles de compresión del mortero esta dado por:

$$\sigma_{adm.} = 0,45 f_c \quad , \text{ donde } f_c = 180 \text{ kg/cm}^2, \text{ la resistencia de compresión del mortero } \sigma_{adm.} = 0,45 * 180 = 81 \text{ kg/cm}^2$$

Luego:

$$\sigma_t = 29,04 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm.} = 81 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK.}$$

2.6. CALCULO DE LOS PERNOS CONECTORES.

Para calcular las uniones apernadas se utilizaron las fórmulas de la norma NCh 427.

Para unir los perfiles se utilizaron placas de ferrocemento unidas por medio de pernos de alta resistencia clase 8.8 de 8 mm. de diámetro.

El objetivo de utilizar perno de alta resistencia es realizar un menor número de perforaciones en los elementos, para asegurar que no sea el método de unión el que falle al momento de unir los perfiles.

Los pernos conectores se verificaran al esfuerzo de cizalle o corte.

Cizalle.

Este fenómeno de cizalle o corte se produce en elementos de unión de barras sometidas a tracción o compresión.

Para efectuar simplificaciones en el análisis, se utiliza la siguiente hipótesis:

- Si la carga aplicada pasa por el centro de gravedad de un grupo de elementos de unión, cada uno toma una fuerza igual a su capacidad de resistencia al corte o presión de contacto. Esto significa que los elementos de unión toman fuerzas proporcionales a sus áreas. Como se menciono anteriormente se utilizaron pernos de igual diámetro ($D=8\text{ mm}$), por lo que cada uno de ellos toma igual fuerza.

Al utilizar pernos de igual sección transversal que presenten n secciones resistentes para resistir una fuerza P , el esfuerzo de corte que se producirá en cada uno de ellos será:

$$\tau = \frac{P}{n \frac{\pi D^2}{4}}$$

Para el caso de los perfiles 2L100/100/12 que son los más solicitados, se presentan fuerzas axiales que pasan por el centro de gravedad, como se muestra en la figura.

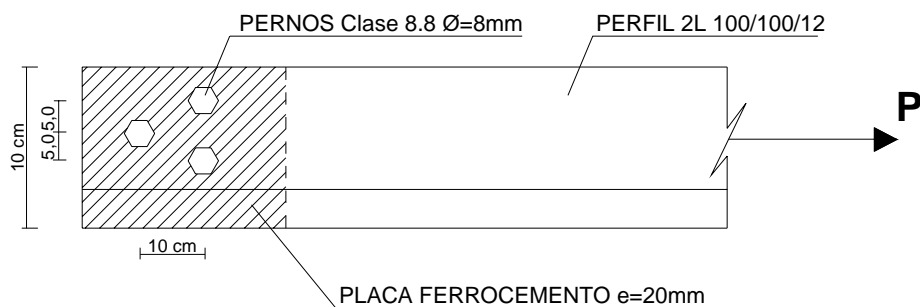


fig. No 15

La fuerza que solicita a cada sección resistente es:

$$P_i = \frac{3.499,92}{6} = 583,3 \text{ kg.}$$

y el esfuerzo de corte esta dado por:

$$\tau = \frac{P_i}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{583,3}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad \text{ecuación (*)}$$

el cual debe ser menor o igual al esfuerzo de corte máximo admisible $\tau_{adm.} = 1.230$ kg/cm², para cumplir lo señalado se despeja la variable D de la ecuación (*), para obtener el valor mínimo que debe tener el diámetro de cada perno.

$$D = 0,78 \text{ cm.}$$

$$D_{calculo} = 0,78 \text{ cm.} < D_{utilizado} = 0,8 \text{ cm.} \quad \text{OK.}$$

Por lo tanto se verifica que cumple el diámetro del perno utilizado.

En la figura siguiente se muestra la cercha con sus respectivos detalles en las uniones.

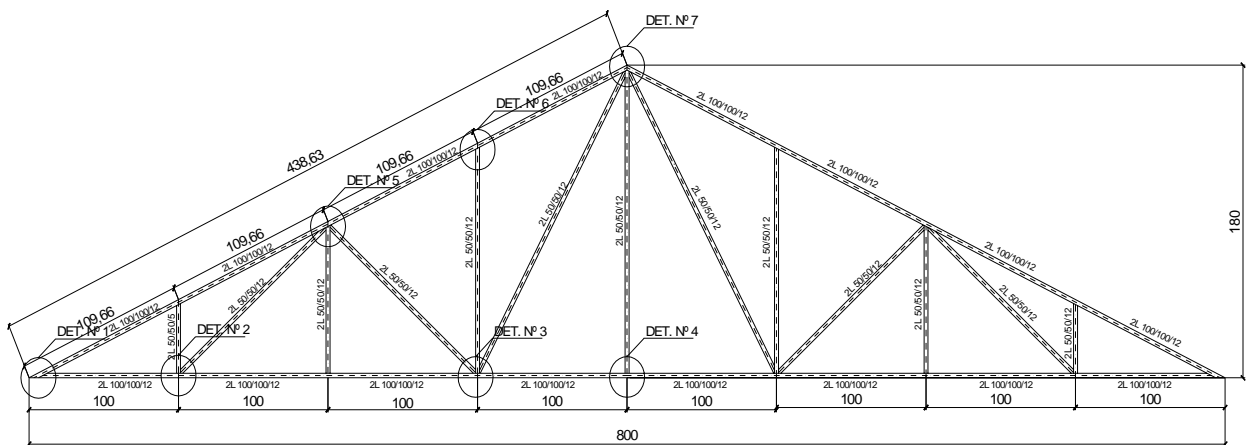


fig. No 16

DET. Nº 1

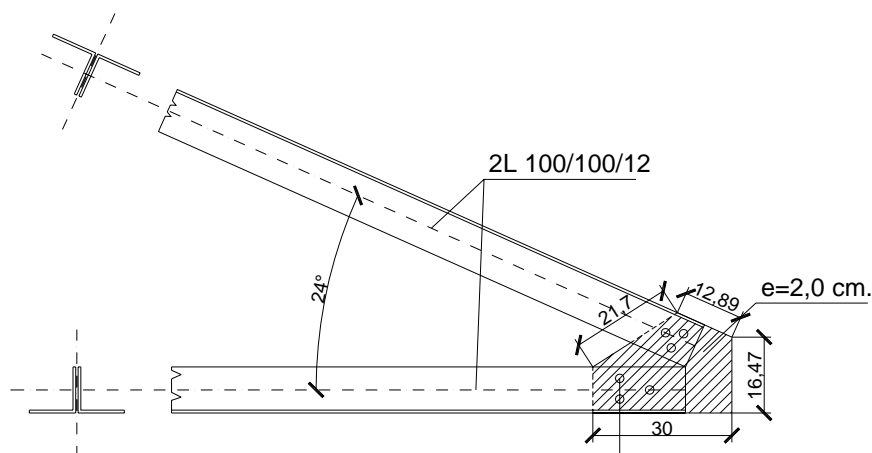


fig. No 17

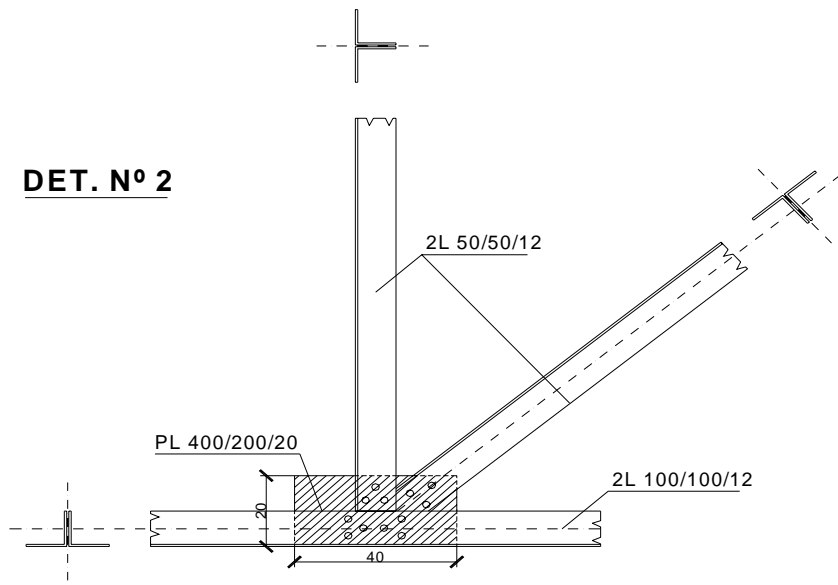


fig. No 18

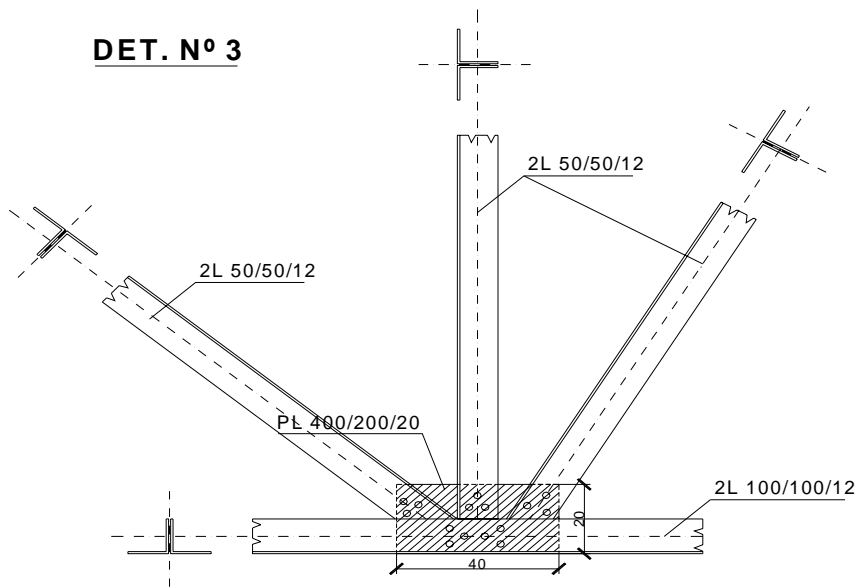


fig. No 19

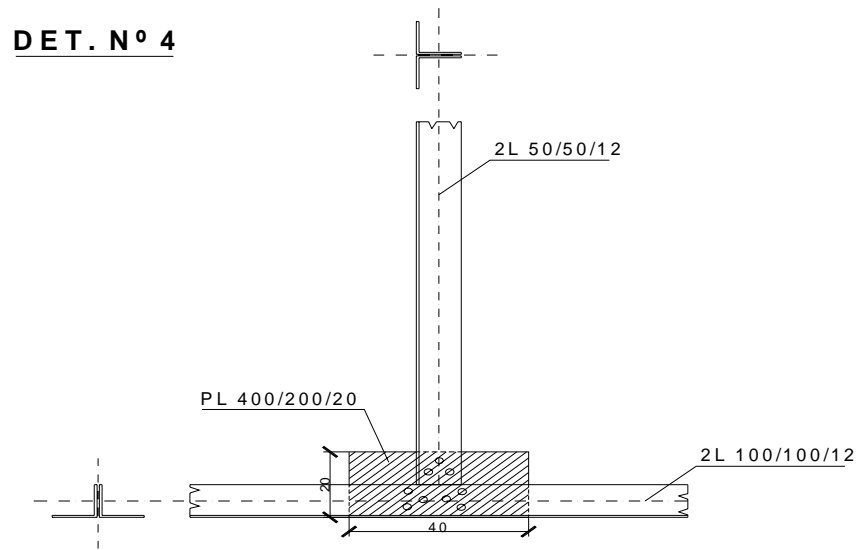


fig. No. 20

DET. N° 5

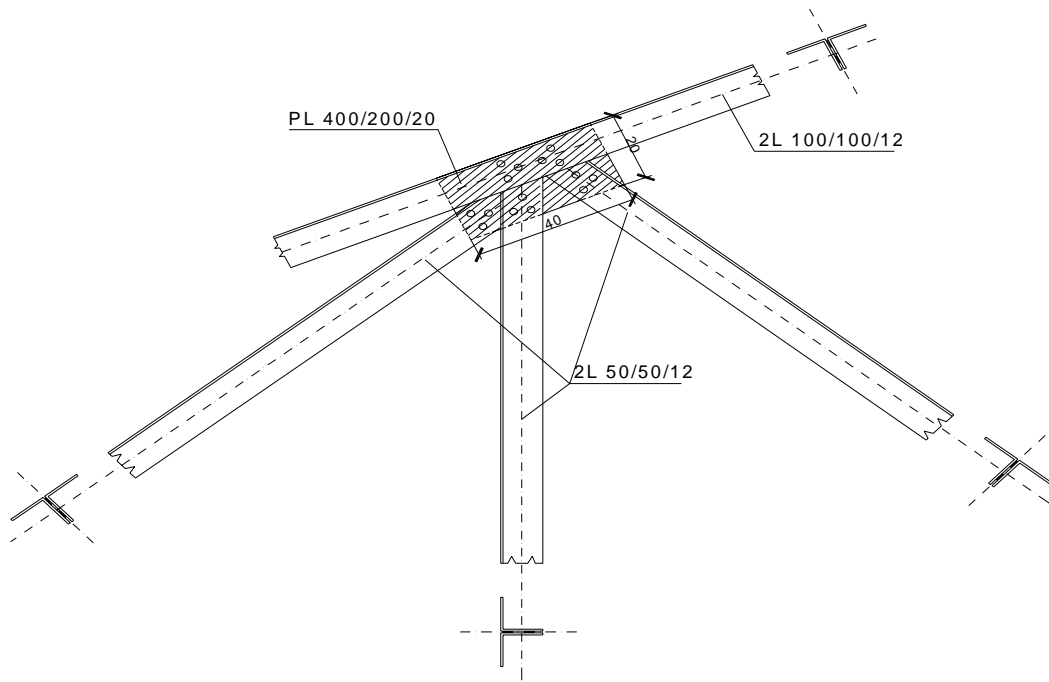


fig. No 21

DET. N° 6

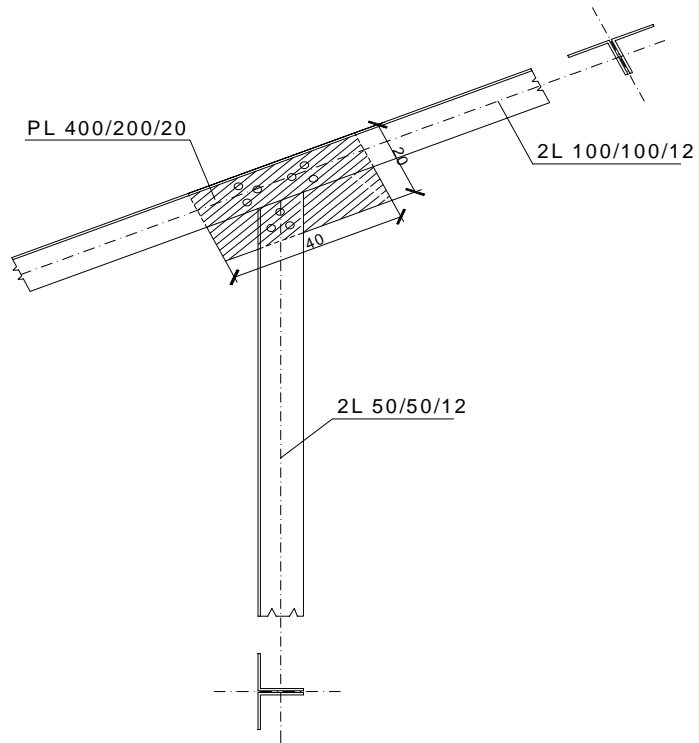


fig. No 22

DET. N° 7

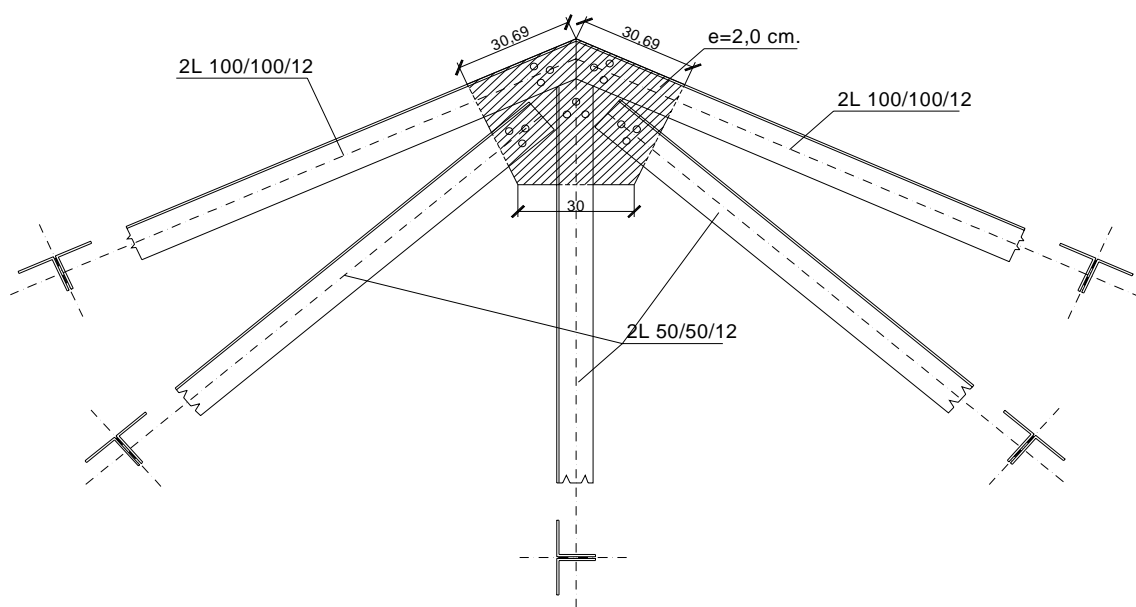


fig. No 23

CAPITULO III

PREPARACION DE LOS PERFILES DE FERROCEMENTO.

3.1. INTRODUCCION.

En este capítulo se describe el proceso de preparación y construcción de los perfiles de ferrocemento, los cuales fueron diseñados en el capítulo anterior.

3.2. DESCRIPCIÓN.

3.2.1. Preparación de Moldajes.

La primera etapa consiste en preparar los moldajes, de acuerdo a las dimensiones de los perfiles y las placas de unión. Estos se construyeron con tableros de OSB Multiplast de 9,5 mm de espesor.

En la figura se muestra parte de la faena de construcción de los moldajes.

*fig. No 24
Construcción de moldajes
de OSB 9,5 mm.*



Una vez contruidos los moldajes, se insertó en su parte interior una huincha de embalar, además de un desmoldante a base de aceites (Sika®Form Madera), para evitar la adherencia del mortero al momento del descimbre. En la figura No 25 se observa lo señalado.



fig. No 25
Colocación de huincha.

3.2.2. Preparación Armadura.

Esta etapa consiste en el corte y doblaje de los refuerzos tanto de la armadura difusa (malla hexagonal), como la armadura discreta (malla Acma).

La malla hexagonal se corta de acuerdo a la geometría de los perfiles, la cual envuelve a la malla Acma, el corte fue bastante fácil, por ser una malla muy flexible.

Por el contrario para realizar los cortes de la malla Acma, se necesito la ayuda de un disco de corte para obtener las dimensiones requeridas, además de una plegadora para el doblaje de este, en las figuras se observa en detalle lo señalado.



fig. No 26
Corte de malla Acma.



fig. No 27
Doblado de la armadura.

Terminado el trabajo de corte y doblaje de armaduras, sé realizó la colocación de la malla hexagonal, envolviendo está en la malla Acma, y siendo amarradas con alambre galvanizado No 18. En la figura No 28 se observa el procedimiento de lo descrito.

fig. No 28
Colocación de la
malla hexagonal.



Las placas de unión en los nudos se construyeron al igual que los perfiles con armadura tipo malla Acma y malla hexagonal. En la figura No 29 se observa una de las placas con la armadura para su posterior llenado.



fig. No 29
Placa de unión
reforzada.

3.2.3. Preparación del Mortero.

Para la el diseño de la mezcla (dosificación), se tomó en cuenta el tipo de áridos, características y determinación de las cantidades para producir la mezcla más económica, que sea trabajable y que le proporcione al mortero la resistencia y durabilidad, en el Anexo I se muestran los resultados obtenidos de los áridos que se utilizaron.

En la fabricación del mortero se incluyen las siguientes etapas:

- Medición de los materiales:

Estos se midieron en peso, según la Norma NCh 170.

Tabla No 4

ANTECEDENTES	OBSERVACIONES
Cemento	El cemento puede ser medido en sacos completos.
Agua	
Áridos	La masa de los áridos debe corregirse por humedad.
Aditivos	Según recomendaciones del fabricante.

- Mezclado:

Para la elaboración de la mezcla se utilizó una hormigonera (betonera) con capacidad de 60 litros.

El tiempo de mezclado de cada amasada debe ser tal que se asegure la homogeneidad del mortero, en este caso fue de aproximadamente 5 minutos, una vez que todos los materiales se encuentran dentro de la hormigonera, hasta el instante en que se inicia la descarga.

La velocidad de rotación de la betonera fue de 20 r.p.m. aproximadamente.

En la figura No 30 se observa el proceso de mezclado.

*fig. No 30
Mezclado del mortero.*



- Orden de carguío para el mezclado:

Debe hacerse en el menor tiempo posible y en el orden que se indica (nunca el cemento en primer lugar).

- 3/4 partes del agua a emplear.
- Todo el cemento.
- Toda la arena.
- El resto del agua necesaria, con los aditivos correspondientes.

Para producir mortero uniforme en pequeñas cantidades, se deben considerar los siguientes factores:

- a) De los equipos: equipos de pesaje de buena calidad, sometidos a revisión.
La hormigonera debe estar bien fundada, de tal forma que permanezca nivelada.
La hormigonera debe limpiarse diariamente.
La mantención mecánica, como las paletas no deben tener en lo posible un desgaste mayor al 10% de la medida original.
- b) De los materiales: sin segregación en el momento de introducirlos a la hormigonera y no contaminados con polvo.
- c) Del proceso: el pesaje debe ser preciso con las proporciones requeridas.

Se debe seguir una secuencia apropiada de carguío a la hormigonera, mencionada anteriormente.

No se debe exceder la capacidad de carga de la hormigonera.

El tiempo de amasado debe ser adecuado. Un exceso de tiempo conduce a segregación.

La descarga debe ser sin restricciones de flujo y con dirección de caída vertical (para evitar segregación).

- Transporte:

Se realizó en carretillas con capacidad de 60 litros.

En la figura No 31 se observa una vez terminado el proceso de mezclado, el vaciado de la mezcla.



fig. No 31
Vaciado de la mezcla.

- Compactación:

El proceso de compactación tiene como objetivo obtener la máxima compacidad del mortero, eliminando huecos y aire atrapado durante la colocación, para asegurar:

- Resistencias mecánicas (cada 1% de aire atrapado, adicionalmente al natural, puede reducir en más de 5% la resistencia mecánica), densidad e impermeabilidad.
- Rellenar completamente los moldajes.
- Textura superficial requerida.
- Durabilidad.

Existen diferentes métodos de compactación, ya sea manuales o mecánicos. Dentro de los mecánicos, los de vibración son los más utilizados, especialmente el vibrador interno, una de las características especiales de estos, es que son muy efectivos ya que transmiten su energía directamente a la mezcla, además por su diseño, tamaño, peso y maniobrabilidad, son los más usados. Pueden compactar mezclas de cualquier fluidez.

En la figura No 32 se observa el proceso de vibrado, mediante un vibrador interno.

*fig. No 32
Proceso de vibrado.*



En ocasiones es conveniente complementar su uso con varillas, tal como el espacio entre el moldaje y la armadura, con el cuidado de no remover estas.

En la tabla No 5 y No 6 se detallan las características y recomendaciones de diámetros de acción de los vibradores internos, ya que un mal vibrado puede afectar de manera severa la resistencia del mortero.

Tabla No 5

CARACTERISTICAS	FACTORES DE LOS QUE DEPENDE
Efectividad en consolidar la mezcla	Principalmente de: <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de la botella • Frecuencia • Amplitud
Diámetro de acción y espaciamiento entre inserciones	Características del vibrador y trabajabilidad de la mezcla.

Tabla No 6

	Diámetro del vibrador (mm)			
	25	50	75	100
Diámetro de acción (cm)	15 - 30	30 - 50	50 - 70	60 - 100
Capacidad de compactación (m ³ /hr)	-	7 - 15	15 - 25	30 - 40

En la siguiente tabla No 7 se detalla las características y aplicaciones de los vibradores internos (*ref. ACI 309*).

Tabla No 7

Diámetro de la botella (mm)	Frecuencias recomendadas VPM (HZ)	(1) Valor sugerido de la amplitud (mm)	(2) Valor aproximado del diámetro de acción (cm)	(3) Valor aproximado de cantidad de mezcla colocada y compactada en m ³ /h por vibrador
20 - 40	10.000 - 15.000 (170 - 250)	0,4 - 0,8	16 - 30	0,8 - 4

APLICACIONES:
Mezclas de alta fluidez, en secciones muy delgadas y con alta densidad de armaduras.

Observaciones:

- (1) : Mientras el vibrador esta en la mezcla.
- (2) y (3) : Estos rangos reflejan no sólo la capacidad del vibrador, sino también diferencias en la trabajabilidad de la mezcla, grado de compactación deseado y otras experiencias en construcción.
- (3) : Estos valores asumen que el espaciamiento entre inserciones es de 0,75 veces el diámetro de acción, y que el vibrador opera 2/3 del tiempo usado en la colocación.

NOTA : Se recomienda verificar la frecuencia de los vibradores mediante aparato medidor de vibración.

- **Curado:**

Es el proceso de mantener controlado el contenido de agua en el mortero, por un período de tiempo, para que la pasta de cemento se hidrate y el mortero desarrolle las propiedades requeridas.

Durante el período de endurecimiento del mortero, este se debe mantener húmedo para evitar pérdida brusca del agua por evaporación.

Mientras mayor sea el período de curado, se obtendrán:

- Mayores resistencias mecánicas a largo plazo y mayores resistencias a agentes exteriores agresivos.
- Mayor impermeabilidad.

- Mayor durabilidad.
- Lo ideal sería prolongar el período de curado por lo menos 14 días.

El período de curado debe iniciarse tan pronto como sea posible, antes de que desaparezca el agua de exudación y cuando hay terminación superficial, apenas terminada esta.

Los tiempos mínimos de curado para cementos grado alta resistencia y cementos grado corriente son de 4 y 7 días respectivamente.

Al no aplicar un curado a tiempo, o bien si el curado es intermitente, sobre todo los tres primeros días (produciéndose esfuerzos por variaciones de volumen), hay peligro de aparición de grietas superficiales y de generación de superficies polvorosas, lo que afecta la durabilidad y resistencia del mortero.

Existen 2 métodos de curado:

- Métodos que proporcionan humedad (tratamientos húmedos).
- Métodos que previenen la pérdida de humedad.

Para el curado de los elementos de ferrocemento se utilizó el segundo método, para ello se emplearon láminas de polietileno, ya que es un método de fácil aplicación, para todo tipo de formas de estructuras.

Dentro del período de curado se tomaron las siguientes precauciones:

- Las láminas de polietileno deben quedar totalmente en contacto con el mortero para evitar evaporación.
- Las láminas de polietileno deben protegerse de temperaturas extremas y viento, debiéndose aplicar sobre ellas una capa aislante de tierra o arena.
- Durante el período de curado las cubiertas deben permanecer totalmente saturadas. Después, deben dejarse secar sobre la superficie protegida para permitir que el hormigón se seque lentamente.

- Los moldajes deben mantenerse húmedos. Si él desmolde se produce en este período, las nuevas superficies expuestas deben someterse a curado hasta el final del período estipulado.
- Si existen variaciones climáticas, impredecibles durante o en el período de terminación de curado (fuertes vientos o temperaturas extremas), deben efectuarse las protecciones necesarias inmediatamente para no dañar el mortero o al material de curado.
- El mortero no debe sufrir cargas, impactos, vibraciones, tránsito de personas, equipos o peso de materiales, que puedan dañar al mortero o al material de curado.

En la figura No 33 se muestra el proceso de curado de los perfiles de ferrocemento, mediante láminas de polietileno.



*fig. No 33
Proceso de curado de los
perfiles de Ferrocemento.*

- **Desmolde:**

Este proceso consiste en retirar el moldaje a los elementos. El retiro de moldajes se debe realizar sin producir sacudidas, choques, ni destrucción de aristas, esquinas o superficies del mortero.

Según la Norma NCh 170, para elementos no solicitados el plazo es de 1 día para cementos de alta resistencia y 2 días para cementos de grado corriente.

En el caso de retiro de moldajes de los elementos de ferrocemento no se produjeron mayores problemas, ya que estos contaban con un desmoldante para evitar la adherencia del mortero.

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DE LA CERCHA DE FERROCEMENTO.

4.1. INTRODUCCION.

En el presente capítulo se explica la forma en que se ejecuto el armado de la cercha de ferrocemento. Este proceso se inicio una vez que los perfiles terminaron su proceso de fraguado.

4.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA EJECUCIÓN.

Para facilitar el trabajo del armado se utilizaron diferentes tipos de herramientas y equipos, tal como se detallan a continuación.

Herramientas utilizadas.

- a) Taladro eléctrico.** Se utilizó para perforar los perfiles y placas, con el propósito de colocar los pernos de $\varnothing=8$ mm.
- b) Disco de corte.** Empleado para las terminaciones de los perfiles y cortes de placas.
- c) Huincha de medir.** Empleada para las respectivas mediciones.
- d) Prensa manual.** Utilizada para la sujeción de perfiles y placas, con el objeto de que no se desplazaran los elementos al momento de perforar estos.
- e) Lienza de carpintero.** Utilizada en el proceso de dar el ángulo requerido a la cercha.
- f) Llave mecánica.** Utilizada para la colocación de los pernos.

4.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.

Consistió en armar la base (cordón inferior o tirante) de la estructura con perfiles 2L100/100/12, cada uno de estos perfiles tienen una longitud de 2,67 metros, fueron unidos con placas de ferrocemento y apernadas con pernos hexagonales 8 mm. Antes de la colocación se sacaron las rebadas de los perfiles mediante un disco de corte para hormigones, de modo de obtener una perfecta unión entre ellos. En las siguientes figuras se observa parte de esta faena.



*fig. No 34
Pulido de perfiles de
ferrocemento.*

*fig. No 35
Corte de placas de
ferrocemento para las uniones.*





*fig. No 36
Colocación de placas en
las uniones.*

Una vez unidos los perfiles inferiores mediante las placas y pernos se insertó en la cercha los perfiles verticales ó montantes 2L 50/50/12. En las figuras siguientes se muestra parte del proceso.



*fig. No 37
Perforación de los perfiles para
la colocación de los pernos.*

*fig. No 38
Montante unido a cordón
inferior (tirante).*



Una vez colocados todos los montantes se procedió a instalar los cordones superiores contruidos de perfiles similares a los de los cordones inferiores. Esta faena requirió la utilización de una lienza de carpintero, con el objeto de obtener el ángulo requerido (24°) entre el tirante y el cordón superior. En las figuras que se muestran a continuación se observa más en detalle el trabajo realizado.



*fig. No 39
Instalación del cordón superior.*

*fig. No 40
Parte del cordón superior instalado.*



*fig. No 41
Cordón instalado hasta el centro de la cercha.*

*fig. No 42
Detalle de los apoyos.*



Finalmente este proceso se terminó con la colocación de los diagonales, estos al igual que los montantes fueron diseñados con perfiles 2L 50/50/12, este proceso fue más lento que los anteriores, tuvo la dificultad de insertarlos, ya que necesitaban de cortes en los extremos de acuerdo a la geometría de los nudos, en las figuras siguientes se observa lo señalado.

*fig. No 43
Instalación de diagonales.*



*fig. No 44
Unión de dos perfiles
del cordón superior.*

fig. No 45
Cercha terminada.



CAPITULO V

DESCRIPCION Y DESARROLLO DEL ENSAYO EFECTUADO A LA CERCHA.

5.1. INTRODUCCION.

En este capítulo se entrega una descripción de la forma en que se ensayo la cercha de ferrocemento y las características fundamentales del ensayo a que fue sometida esta.

Se describe el proceso del ensayo, como así los materiales, instrumentos y equipos usados en dicho proceso.

5.2. DEFINICIÓN DEL ENSAYO.

El ensayo efectuado sobre la cercha consistió en aplicar sobre ella cargas puntuales. Para ello se coloco sobre los cordones superiores de la cercha una estructura metálica con la forma requerida, para que se acoplase bien en la cercha.

La velocidad de carga fue uniforme en el tiempo y de aproximadamente 6 mm. por minuto.

5.3. PERSONAL NECESARIO PARA EL ENSAYO.

Para efectuar el ensayo se necesito del siguiente personal:

- Operador 1: encargado de operar la central hidráulica, el cual tiene la función de aplicar la carga.
- Operador 2: encargado de llevar las lecturas del reloj comparador, para el registro de datos.
- Operador 3: encargado de leer el medidor electrónico de carga.
- Operador 4: encargado de observar las primeras fisuras en alguna barra o unión de la estructura.

5.4. TAREAS PREVIAS AL ENSAYO.

Una de las tareas previas al ensayo, fue verificar los apoyos en los extremos de la cercha. Para lograrlo se debió levantar la cercha con la ayuda de un "tecle", instalado en la máquina de ensayos. Una vez puestos ambos apoyos en los extremos, se verificó que la estructura estuviera alineada y centrada con respecto a la máquina de ensayos, con ayuda de un nivel láser.

Luego se instaló una estructura metálica y trozos de madera entre el pistón de carga y el cordón superior de la cercha, con el objeto de que la carga sobre ella sea aplicada de forma puntual.



*fig. No 46
Aplicación de la carga
puntual.*

5.5. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO.

Para efectuar el ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- 1.-Prensa accionada por pistón hidráulico con capacidad de 20.000 kg.
- 2.-Reloj comparador Soiltest LC-8, americano, con una precisión para medir deformaciones de hasta una milésima de pulgada (0,0254 mm).
- 3.- Central Hidráulica con:
 - Regulador de la velocidad de carga, que controla el paso del caudal de aceite hidráulico del compresor al pistón.
 - Palanca de accionamiento del pistón de carga.
 - Switch de encendido del compresor.

4.- Medidor electrónico de carga. Funciona con una celda de carga conectada al pistón.

fig. No 47
Reloj comparador
Soiltest LC-8.



fig. No 48
Palanca de accionamiento
del pistón de carga.

fig. No 49
Medidor electrónico de
carga.





*fig. No 50
Cercha centrada en
prensa de ensayos.*

*fig. No 51
Estructura metálica de
carga.*



*fig. No 52
Medición de la deformación
vertical de la cercha.*

CAPITULO VI

ANALISIS DE COMPARACION DE COSTOS.

6.1. Costos de fabricación.

En el presente capítulo se hace un análisis de costos involucrado en la fabricación de la cercha de 8,0 metros de luz y una altura de 1,80 metros, con una de las mismas características de acero estructural.

ANALISIS DE CERCHA DE ACERO ESTRUCTURAL.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
<u>Materiales</u>				
1. Perfil 2L40/40/3	kg.	60	650	39.065
2. Perfil 2L50/50/4	kg.	102	650	65.975
3. Soldadura	kg.	1	1.850	1.850
4. Placas de acero e=5mm.	kg.	39	650	25.415

TOTAL \$ 132.305.-

ANALISIS DE CERCHA DE FERROCEMENTO.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
<u>Materiales</u>				
1. Mortero 2:1	lts.	163,9	69	11.309
2. Aditivo Plastiment H. E.	kg.	0,5	9.800	4.400
3. Malla Acma C139	m ²	6,7	1.869	12.541
4. Malla Acma 50x50	m ²	4,6	4.249	19.673
5. Malla Hexagonal	m ²	22,7	589	13.359
6. Moldajes	m ²	23,4	2.520	59.018
7. Pernos Clase 8.8 D=8mm	un.	52,0	181	9.412

TOTAL \$ 129.712.-

Del análisis se puede observar que prácticamente son similares los costos de fabricación de ambos materiales. Sin embargo cabe mencionar que para la construcción en ferrocemento el costo mayoritario corresponde al moldaje, con un

45% del total del costo de la fabricación. Dado que estos son reutilizables en procesos de fabricación en serie, se puede concluir que es más económico el ferrocemento que el tradicional acero.

CAPITULO VII

DISEÑO EXPERIMENTAL.

7.1. CONSIDERACIONES ADOPTADAS.

Conceptualmente las cargas de peso propio y carga viva de una cubierta se distribuyen en forma uniforme. Sin embargo debido a la estructuración de la cubierta y a la existencia de costaneras, la cercha propiamente tal las recibe en forma de cargas puntuales que en forma ideal se intenta que sea en los nudos.

De este modo, durante el diseño de los elementos estructurales las cargas, se situaron en los nudos del cordón superior. Sin embargo en el laboratorio es difícil llevar a cabo tal distribución de cargas manteniendo un régimen de control sobre las deformaciones.

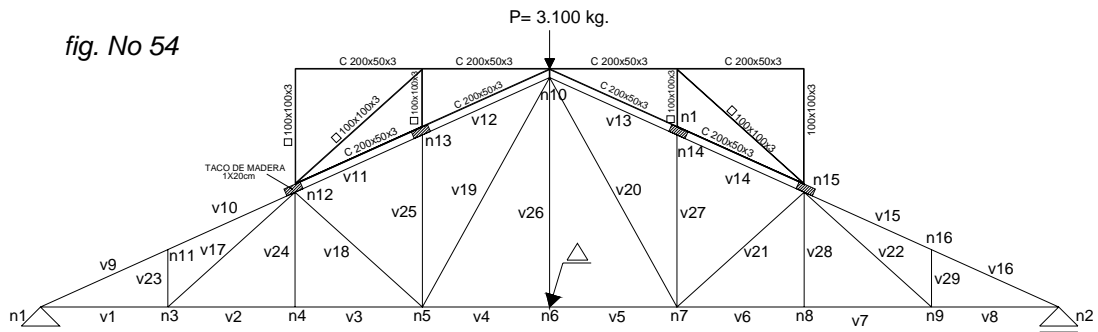
Como solución a esto, se aplicó las cargas de manera lo más real posible utilizando un sistema hidráulico de velocidad controlada instalado en una estructura metálica apoyada sobre los cordones superiores de la cercha utilizando tacos de madera como elementos de ajuste.

En las siguientes figuras se observa lo señalado.



fig. No 53

fig. No 54



Durante el ensayo de la cercha se midió la deformación máxima en el punto medio del cordón inferior, para lo cual se utilizó un reloj comparador modelo Soiltest LC -8.

7.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En la siguiente tabla se muestran los valores que se registraron en el ensayo para la deformación en el centro.

Tabla No 8.

Carga "P" (kg)	Deformación Δ(mm)	Observaciones de terreno
0	0.0	
200	3.0	- Se escucha un crujido, esto debido al reacomodo de las piezas.
400	3.2	
600	3.6	
800	4.0	
1.000	4.4	
1.200	4.7	
1.400	5.3	
1.600	5.9	
1.800	6.6	
2.000	7.0	
2.200	7.8	
2.400	8.6	- Deformación notoria.
2.600	9.5	
2.800	10.4	
3.000	11.0	- Limite de proporcionalidad.
3.100	11.8	- Aparecen las primeras fisuras en la placa de unión n10.
3.200	13.1	- Aumentan las fisuras hasta transformarse en grietas en la unión n10. Además aparecen pequeñas fisuras en los nudos n13, n14 y en los perfiles V11, V12, V13, V14. Además presencia de grietas en los perfiles V1, V2, V7, V8.
3.400	17.9	- Notorias fisuras en los nudos V13, V14 y en los perfiles V11, V12, V13, V14, concentradas en los nudos.
3.600	22.8	
3.800	30.3	- Elementos a compresión del cordón superior con fisuras visibles, debido a tracciones secundarias.
4.000	39.0	- Carga máxima que resiste la cercha, grietas visibles en uniones y perfiles.
3.750	37.1	
3.600	36.0	- Aunque sé continuo accionando la prensa, baja la carga y la deformación. Esto ultimo sin una razón justificada.

A contar de los 2.400 kg se aprecia una notoria deformación a simple vista. Luego a los 3.100 kg. de carga aproximadamente, se aprecian en algunos nudos (placas de unión) pequeñas fisuras, que a medida que aumentan las cargas se incrementaba en tamaño y en cantidad.

7.3. ANÁLISIS DE DATOS

Con los resultados obtenidos en el experimento se construye la siguiente gráfica.

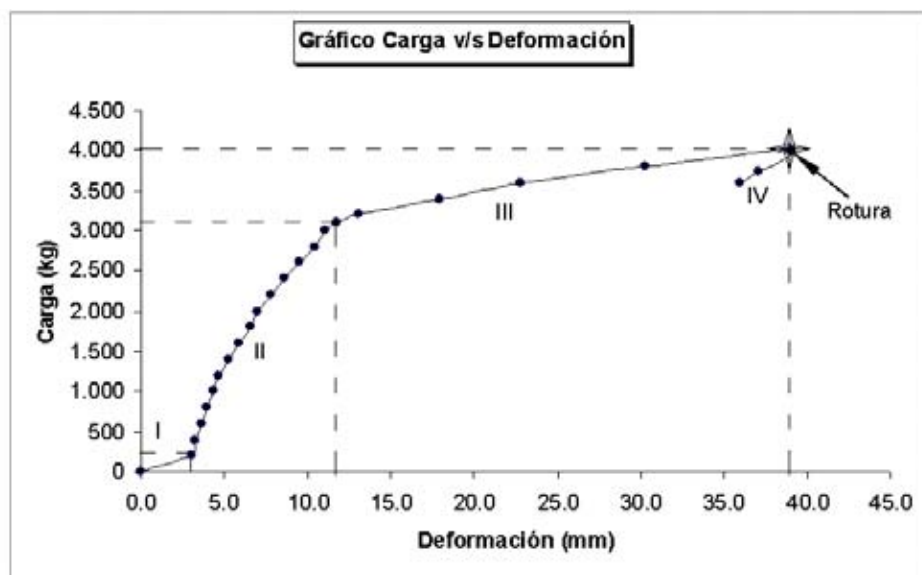


fig. No 55
Gráfico Carga v/s Deformación.

En esta gráfica se pueden distinguir claramente varios tramos:

1. En el comienzo del ensayo la cercha se comporta de una manera errática atribuible probablemente al reacomodo de los diferentes elementos de la estructura ensayada. En este tramo la deformación aumenta en forma rápida alcanzando una deformación de 3.0 mm bajo una carga de 200 kg.
2. Una zona aproximadamente lineal comprendida entre los 200 y los 3100 kg en que la estructura se comporta en forma aparentemente elástica. Aquí la deformación aumenta de manera constante en aproximadamente 0,5 mm. cada 200 kg.
3. En el tercer tramo, a partir de los 3.100 kg de carga, comienzan a aparecer las primeras fisuras que aumentan progresivamente en cantidad y tamaño,

sobretudo en las placas de unión de ferrocemento. A los 3.000 kg la deformación de la cercha pierde claramente su linealidad en su relación esfuerzo-deformación. Las deformaciones aumentan considerablemente y se aprecia que todo el esfuerzo de tracción lo toma la armadura incorporada en los elementos (malla Acma). Al llegar a los 4.000 kg y una deformación de la cercha de 39,0 mm se produce la ruptura.

4. Pasado los 4.000 kg las cargas disminuyen aun cuando se continua aumentando la deformación en el vértice superior.
5. En el tramo IV se observa un extraño comportamiento de la estructura, ya que disminuye el valor de la deformación en el centro del cordón inferior, esto posiblemente a un acoplamiento de algún elemento.

La cercha estaba calculada para resistir una carga de diseño de 3.276 kg, aplicado en los 9 nodos. Lo que equivale a una carga por nodo de 409,5 kg. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, a los 3.100 kg de carga aplicados en los 5 nudos, que equivalen a 620,0 kg por nudo, aparecieron las primeras fisuras. Lo que representa el valor de carga en que termina el comportamiento elástico.

Para estudiar de mejor forma lo anterior, se uso una modelación incorporando la estructura metálica utilizada para transferir las cargas y lograr así un ajuste mejor con la realidad. La comparación de los esfuerzos en los elementos obtenidos en la modelación utilizada en el diseño escalada para cargas equivalentes por nodos y esta nueva modelación mejorada, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla No 9.

No de Perfil	Modelación No 1 Prediseño	Modelación No 2 Diseño	Modelación No 3 mejorada (Real al ensayo)	$P_{adm. tracción}$	$P_{adm. compresión}$	Observaciones	Fallas
V9 - V16 (*)	- 3.491,4 kg.	- 3.775,2 kg.	- 3.775,2 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Sobrestima la resistencia	Pequeñas fisuras
V10 - V15 (*)	- 3.499,9 kg.	- 3.781,7 kg.	- 3.781,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Sobrestima la resistencia	Pequeñas fisuras
V11 - V14 (*)	- 2.497,0 kg.	- 3.276,4 kg.	- 3.653,0 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	Pequeñas fisuras
V12 - V13 (*)	- 2.499,1 kg.	- 3.280,2 kg.	- 3.451,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	Pequeñas fisuras
V18 - V21 (**)	- 613,4 kg.	- 619,3 kg.	- 171,4 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	
V19 - V20 (**)	940,0 kg.	1187,2 kg.	- 250,0 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	
V23 - V29 (**)	- 427,0 kg.	- 16,0 kg.	- 16,0 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	
V24 - V28 (**)	- 2,3 kg.	- 4,9 kg.	- 4,0 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	
V1 - V8 (*)	3.192 kg.	3.452,1 kg.	3.451,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	
V2 - V7 (*)	2.733,4 kg.	3.449,1 kg.	3.448,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	Presencia de grietas
V3 - V6 (*)	2.733,4 kg.	3.449,1 kg.	3.448,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	Presencia de grietas
V4 - V5 (*)	1.821,6 kg.	2.413,3 kg.	3.442,7 kg.	5.040,0 kg.	3.654,7 kg.	Subestima la resistencia	Presencia de grietas
V17 - V22 (**)	618,0 kg.	4,0 kg.	4,0 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	Presencia de grietas
V25 - V27 (**)	- 413,9 kg.	- 628,0 kg.	331,3 kg.	1.500,0 kg.	1.710,7 kg.	Subestima la resistencia	

NOTA:

(*) Perfiles 2L 100/100/12

(**) Perfiles 2L 50/50/12

Los perfiles con signo negativo (-) son solicitados a compresión.

1. Modelo original subestima los esfuerzos de compresión de una parte importante de la estructura en un 10% aproximadamente,
2. Las zonas cercanas a los apoyos, alejados de la estructura metálica usada para aplicar las cargas, no se ven mayormente afectada por el modelo utilizado.
3. Algunos elementos de los diagonales y montantes (V19, V20,V25, V27), cambiaron su estado de sollicitación, de compresión a tracción y viceversa.
4. El cordón inferior no presentó mayormente diferencias de esfuerzos entre ambos modelos, excepto los mencionados anteriormente.
5. Los perfiles de los diagonales y montantes no sufrieron fallas, ya que los esfuerzos son menores que las de los cordones, pues estas transmiten directamente a los apoyos las cargas.

El valor estimado para la compresión admisible fue de $P_{adm.}=3.654,7$ kg para el perfil 2L100/100/12 (cordón superior), sin pandeo. El límite de proporcionalidad de la estructura (3.100 kg) significó una tensión de aproximadamente 3.700 kg. Se concluye que la estructuración utilizada sobreestima la resistencia.

El mal comportamiento se produjo en las uniones, pues se produjo aplastamiento en las perforaciones, apareciendo fisuras provocadas por tracciones secundarias. En la siguiente figura se observa lo señalado.

fig. No 56
Grietas concentradas en
perforaciones de los pernos.





fig. No 57
Grietas visibles en los perfiles
a los 4.000 kg de carga.

Resumiendo: lo que hizo colapsar la estructura fueron las placas de ferrocemento en las uniones. Estas se agrietaron cerca de las perforaciones de los pernos, y a medida que aumentaba la carga estas aumentaban en cantidad y tamaño.

Las fallas provocadas en las placas de unión deben ser estudiadas con más detención, ya que forman parte importante de la estructura.

La deformación en el centro de la cercha fue de 11,8 mm bajo una carga de 3.100 kg. Este valor es adecuado respecto al valor de la deformación $\Delta = \frac{L}{700} = 11,4$ mm, aceptada para este tipo de estructuras.



fig. No 58
Deformación en el centro de
la cercha.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES.

8.1. CONCLUSIONES GENERALES.

- La experiencia lograda en el uso de este material mostró que solo con un poco de entrenamiento del personal, y de algunas recomendaciones básicas para la preparación y producción, es posible construir perfilerías de ferrocemento.
- El diseño y construcción de elementos de pequeño espesor, que posean resistencia y ductilidad, abre campos de aplicación previamente reservados a los aceros.

8.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.

- Es posible construir elementos de pequeño espesor, por lo tanto es posible construir cerchas con perfilerías de ferrocemento.
- Las fallas provocadas en las placas de unión deben ser estudiadas con más detención, o bien pueden utilizarse placas de acero.
- Los costos del ferrocemento se puede reducir considerablemente, si se reutilizan los moldajes.
- Los moldajes, al construirse en forma artesanal y con placas de OSB, presentaron pequeñas variaciones en la dimensión de los espesores de los perfiles. Por lo tanto es recomendable el uso de otro tipo de material para construirlos. Si la producción fuese industrializada, lo más recomendable sería utilizar moldajes metálicos.
- Dado que las perforaciones realizadas a los perfiles tienden a agrietarse, resulta un proceso lento e incierto en su calidad.

- Confinar capas de mallas y luego estucarlas con mortero es un proceso muy laborioso. En un proceso industrial se debe automatizar para hacerlo más eficiente.
- De acuerdo al modelo experimental las cargas se transmiten al nudo de la cumbrera, siendo este altamente solicitado y provocando la falla del elemento de unión de este nudo durante el ensayo.
- Los perfiles son de pequeño espesor. Por lo que es recomendable tomar ciertas precauciones en la armadura, ya que en algunas zonas el recubrimiento puede ser mínimo. Una solución es un anticorrosivo para prevenir este problema.
- El área de contacto entre el cordón superior de la cercha y la estructura metálica, provocó un mayor esfuerzo en los elementos.
- Los perfiles que fueron solicitados a compresión (cordón superior), sufrieron agrietamientos no esperados en los extremos, producto de tracciones secundarias, debido al aplastamiento de las perforaciones en las uniones.

ANEXO I

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.

1.1. Cemento.

El cemento utilizado para la fabricación de los elementos estructurales es del tipo Especial Siderúrgico, elaborado sobre la base de clínker, escoria básica granulada de alto horno y yeso. De acuerdo a la Norma NCh 148 Of. 68, se clasifica según su composición y resistencia, como cemento clase siderúrgico, grado corriente.

DATOS TÉCNICOS.

Tabla N° 9

Características	Cemento Bío-Bío Especial	Requisitos NCh 148 Of. 68
Clase	Siderúrgico	
Grado	Corriente	
Características Físicas y Mecánicas (*)		
Peso Específico (gr/cm^3)	3,0	1,0 máx.
Expansión de Autoclave (%)	0,05	01:00 mín.
Fraguado Inicial (h:m)	02:50	12:00 máx.
Fraguado Final (h:m)	03:40	
Resistencia Compresión (Kg/cm^2) (**)		180 mín.
3 días	180	250 mín.
7 días	265	
28 días	430	
90 días	520	

Características Químicas (*)		
Pérdidas por calcinación (%)	2,2	5,0 máx.
SO ₃ (%)	1,4	4,0 máx.

(*) Valores Promedio

(**) Mortero NCh 158 (ISO RILEM)

1.2. Arena.

La arena utilizada en la elaboración del mortero se caracteriza en ser de un material de granos muy finos. En la tabla No 10 se muestran los resultados obtenidos al realizar la granulometría de los áridos.

Tabla No 10

malla	Peso Retenido (Grs.)	% retención	% retención acumulado	% que pasa
No 4	18	1,04%	1,04%	98,96%
No 8	25	1,45%	2,49%	97,51%
No 16	84	4,87%	7,36%	92,64%
No 30	540	31,32%	38,68%	61,32%
No 50	916	53,13%	91,81%	8,19%
No 100	100	5,80%	97,61%	2,39%
residuo	41	2,38%	100,00%	0,00%
SUMA	1724	100%	339%	361%

De esta tabla, se muestra que una de las características principales del material (entregado por el laboratorio) es que es una arena de granos muy finos, además el objetivo de esta granulometría es calcular el Módulo de finura MF, ya que este dato nos servirá para la dosificación del mortero.

Según la Norma Chilena NCh 165 Of. 77 "Aridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría" establece el Modulo de Finura para una arena en la que pasa menos del 100% por la malla de abertura 5 mm. (ASTM No 4), está dado por la siguiente expresión.

$$MF = 6 - \left(\frac{\text{Suma.de.los.porcentaje.que.pasan}}{\text{Porcentaje.que.pasa.por.la.malla.No.4}} \right)$$

Según la formula y de acuerdo a los valores obtenidos, se tiene:

$$MF = 6 - \frac{361\%}{98,96\%} = 2,35$$

Además se realizaron los siguientes ensayos requeridos para el cálculo de dosificación, a continuación se detallan los valores:

- Densidad Real sss = 2,566 kg/lit
- Densidad real seca = 2,512 kg/lit
- Densidad Aparente suelta = 1,348 kg/lit
- Absorción = 1,91 %
- Humedad = 2,80 %
- Esponjamiento = 22,0 %

1.3. Aditivos.

Para la elaboración del mortero se utilizó un aditivo plastificante, Plastiment H. E. de SIKA, el cual es un plastificante exento de cloruros que produce en el hormigón un aumento considerable en su docilidad y/o una reducción en la razón A/C. No contiene cloruros, la cual confiere al mortero las siguientes propiedades:

- Mejora la docilidad en el hormigón fresco, facilitando las labores de colocación del hormigón.
- Permite reducir el agua de amasado en el hormigón produciendo incrementos en las resistencias mecánicas.
- Aumento de la impermeabilidad.

Datos Técnicos:

Densidad : 1,18 kg/dm³

Hormigón 300 kg/m³ cemento corriente, confeccionado en laboratorio.

Tabla No 11

	A/C	Aditivo %	Cono (cm)	Din (cm)	Resistencias Compresión (kgf/cm ²)			
					1 día	3 días	7 días	28 días
Patrón	0.53	-	5.0	30	70	150	194	273
Plastiment H.E.	0.46	0.5	6.0	30	93	192	256	398
Plastiment H.E	0.52	0.5	18.0	46	69	154	193	274

- Al utilizar Plastiment H.E. como plastificante se verifica un aumento considerable de la docilidad del hormigón sin problemas en las resistencias mecánicas.
- Como reductor de agua permite reducir la razón A/C entre un 10 y un 15%, sin variar la trabajabilidad del hormigón.
- Las resistencias mecánicas se mantienen a todas las edades, aún considerando el incremento de la docilidad.
- Al comparar el hormigón patrón y el hormigón confeccionado con Plastiment H.E. se observa un fuerte incremento en las resistencias para una misma trabajabilidad.

Aplicación:

Consumo: 0,3 a 0,5 kg. para 100 kg. de cemento.

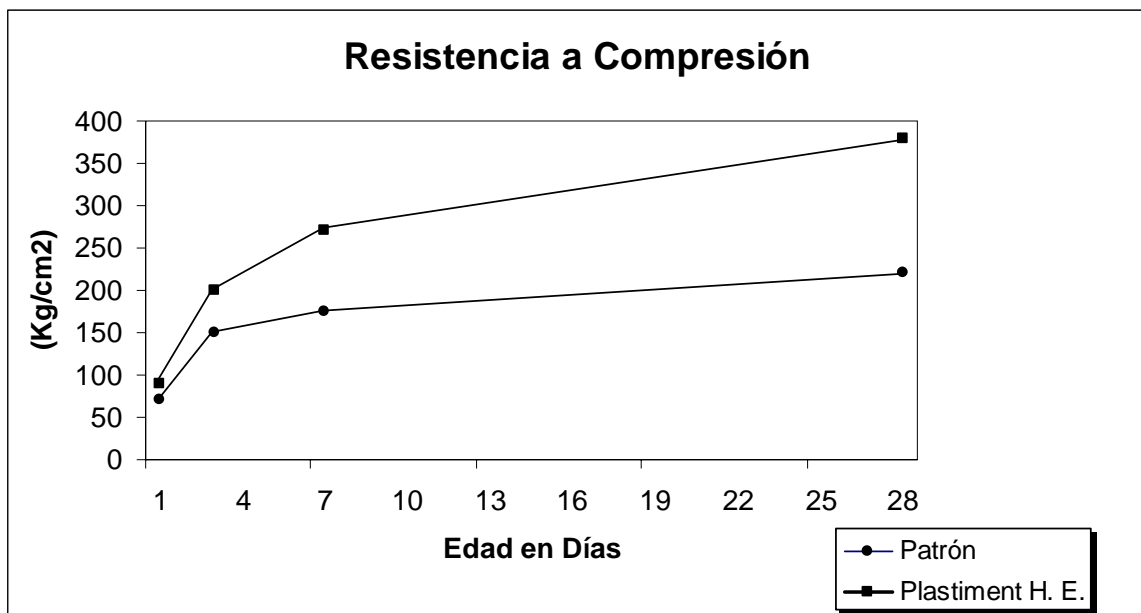


fig. No 59
Gráfico Resistencia compresión.

1.4. Refuerzos.

1.4.1. Malla Hexagonal Galvanizada.

Conocida como comúnmente como “malla de gallinero”, esta elaborado de un alambre galvanizado blando, tejido con triple torsión, lo hace un material resistente, una de las ventajas de trabajar con él en ferrocemento es que es un material muy moldeable y resistente a la corrosión.

Es fabricada por Industrias Chilenas del Alambre S.A., INCHALAM.

En la tabla No 12 se muestra las distintas formas de presentación y resistencia de la malla.

Tabla No 12

Tipo	Abertura Pulg.	Alambre BWG	Peso Aprox. Kg/m ²	Diámetro Alambre mm.	Carga Ruptura Alambre Kg.	Zinc gr/m ² Alambre
½ x 22	1/2	22	0,51	0,67	11	38,0
¾ x 22	3/4	22	0,36	0,67	11	38,0
1 x 21	1	21	0,36	0,76	14	28,0
1 ½ x 20	1/2	20	0,30	0,84	17	49,2

Para la construcción de los elementos de ferrocemento se utilizó para la armadura difusa la malla hexagonal tipo 1 x 21.

1.4.2. Malla electrosoldada ACMA.

Conocida comúnmente como malla Acma, se caracteriza por ser una malla de alta resistencia. Existe el concepto de malla Acma con economía de borde EB, y malla Acma sin economía de borde, la diferencia entre ambas radica en que en las mallas con economía de borde las barras longitudinales en el extremo de ellas son de menor diámetro para evitar duplicar la sección del acero.

Existen 2 tipos de mallas, una de abertura cuadrada tipo "C" y la de abertura rectangular tipo "R", ambas son fabricadas de acero AT 56-50H de alta resistencia, cuyas características son las siguientes:

Acero AT 56-50H

- A : Acero
- T : Trefilado/laminado
- 56 : 5.600 Kg/cm² , Límite de ruptura.
- 50 : 5.000 Kg/cm² , Límite de fluencia.
- H : Hormigón.

Datos Técnicos:

Dentro de los dos tipos de mallas existentes en el mercado nacional existen las con economía de borde y sin economía de borde, como además del tipo de geometría.

Mallas soldadas ACMA con Economía de Borde.

Este concepto se refiere en el caso de mallas tipo "R" a 2 barras longitudinales de menor diámetro que se ubican en cada borde de la malla para evitar duplicar la sección del acero al hacer el traslape; en el caso de mallas C ocurre lo mismo salvo que la cantidad de barras longitudinales de menor diámetro aumenta a 4. En las tablas siguientes se resume las características de los distintos tipos de mallas.

Tabla No 13

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.
C92	150	150	4,20/4,00	4,2	0,92	0,92	18,77
R92	150	250	4,20/4,00	4,2	0,92	0,56	15,28

Medidas : 2,60 x 5,00 m.

Mallas soldadas ACMA sin Economía de Borde.

Tabla No 14

Tipo de Malla	Distancia Barras		Diámetro Barras		Sección 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
C188	150	150	6,00	6,00	1,88	1,88	39,03
C196	100	100	5,00	5,00	1,96	1,96	40,04
C257	150	150	7,00	7,00	2,57	2,57	53,10

Medidas : 2,60 x 5,00 m.

Para la confección en la armadura discreta de los elementos de ferrocemento, se trabajó con el tipo de malla C139 sin economía de borde. En la figura No 60 se muestra lo señalado.

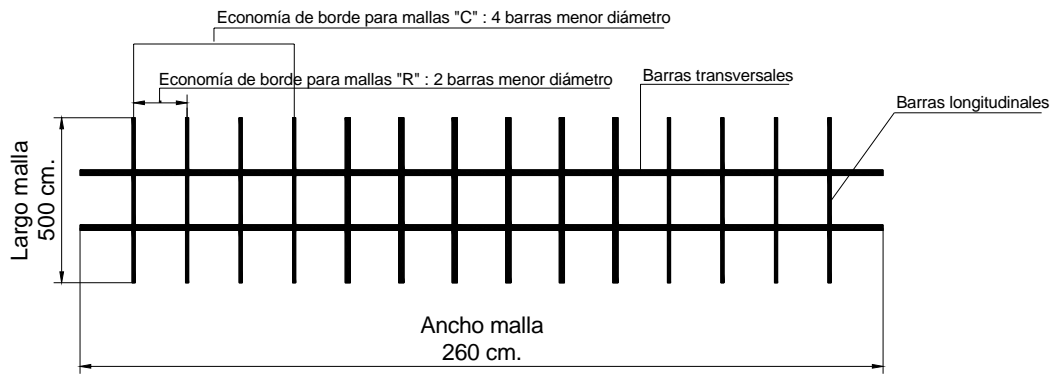


fig. No 60

La malla soldada Acma cumple con las siguientes Normas Chilenas del INN:

- NCh 1173 Of. 77, que establece los requisitos que debe cumplir el alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado.
- NCh 219 Of. 77, que establece las condiciones de uso de la malla soldada fabricada con alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado.

ANEXO II

DOSIFICACIÓN DEL MORTERO.

El mortero utilizado normalmente para ferrocemento es una mezcla de cemento hidráulico y arena al que se le pueden agregar aditivos, como lo fue en este caso, y así aumentar sus propiedades de trabajabilidad, las que están dadas además por el tipo y calidad de los materiales componentes, las condiciones en que se prepara y los factores ambientales.

Hay una gran variedad 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.

Para una utilización normal, el mortero debe tener una relación cemento/arena en peso de 1:2. Se considera una fluidez característica media y el tamaño máximo de la granulometría de la arena será de 5 mm.

El método utilizado para la dosificación, se hará de acuerdo a lo especificado por el Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón.

Cálculo de la Dosificación.

- Determinación de la cantidad de agua:

En cuadro adjunto se entrega la cantidad de agua y aire que debe contener un mortero, de acuerdo a su modulo de finura y a la fluidez deseada.

Determinación de la dosis de agua y aire:

Tabla No 15

ARENA TAMAÑO MÁXIMO 5 mm.													
MF	3,2			2,7			2,2			1,8			
% Cal	<2,5	25-50	>50	<2,5	25-50	>50	<2,5	25-50	>50	<2,5	25-50	>50	H
FLUIDEZ	260	265	270	280	285	290	310	315	320	350	355	360	30
	270	275	280	290	295	300	320	325	330	360	365	370	30
	290	295	300	310	315	320	340	345	350	380	385	390	40
	310	315	320	330	335	340	360	365	370	400	405	410	40

MF : Módulo de finura de la Arena.

H : Contenido mínimo de aire para un mortero compacto.

Nota: valores en lts/m³.

Criterio adoptado de fluidez:

Tabla No 16

Fluidez	Asentamiento de cono	Mesa de sacudidas ASTM
Baja	0 - 2 cm.	≤ 130 mm.
Media	3 - 8 cm.	140 - 175 mm.
Alta	9 - 14 cm.	180 - 195 mm.
Muy Alta	15 - 20 cm.	200 - 220 mm.

Si observamos la tabla No 15 de determinación de agua y aire, nos damos cuenta que no aparece el valor 2,35 del Módulo de Finura calculado en el Anexo I, sin embargo, si nos damos cuenta el valor se encuentra entre el intervalo 2,7 y 2,2; por lo tanto la cantidad de agua se puede calcular mediante una interpolación, el mortero se ha elaborado cal por lo que tomamos las columna con el porcentaje de cal ≤ 2,5%.

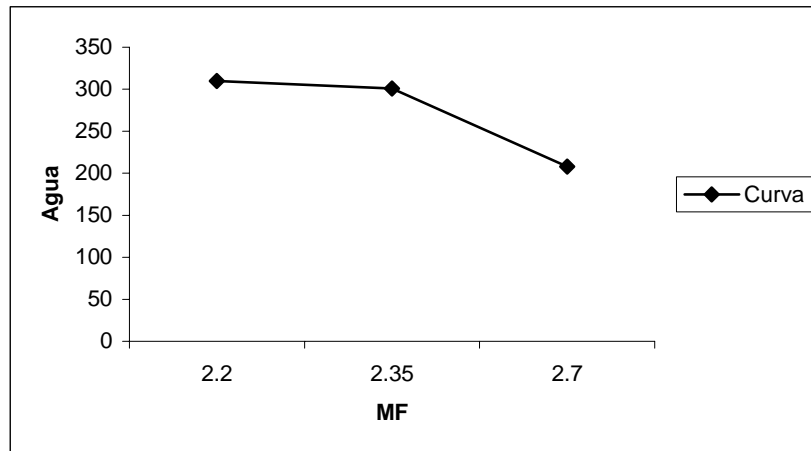


fig. No 60
Gráfico MF v/s Agua

Al interpolar obtenemos la gráfica que nos da el valor de la cantidad de agua igual a 301 litros, para obtener una fluidez media con un modulo de finura de la arena de 2.35, para elaborar 1 m³ de mortero, con un contenido mínimo de aire de 30 litros.

- Determinación de la dosificación del mortero.

Para determinar la dosificación de un mortero debe aplicarse la relación básica que establece que establece la suma de los volúmenes absolutos de sus componentes:

$$\frac{C}{P_c} + \frac{K}{P_k} + \frac{F}{P_f} + A + H = 1.000 \text{ litros.}$$

donde;

C	: dosis de cemento por m ³ de mortero.	(kg)
P _c	: peso específico real del cemento.	(kg/lt)
K	: dosis de cal por m ³ de mortero.	(kg)
P _k	: peso específico real de la cal.	(kg/lt)
F	: dosis de arena por m ³ de mortero	(kg)
P _f	: peso específico real de la arena	(kg/lt)
A	: dosis de agua libre por m ³ de hormigón	(lt)
H	: contenido de aire por m ³ de mortero	(lt)

- Determinación de la dosificación de cemento.

De la ecuación anterior se desprende que la cantidad de cemento queda determinada por la siguiente expresión:

$$C = \frac{1000 - A - H}{\frac{1}{P_C} + \frac{K}{P_K} + \frac{f}{P_f}}$$

donde;

- K : proporción en peso de cal en relación con el cemento.
- f : proporción en peso de arena en relación con el cemento.

En la elaboración de la mezcla de mortero no se utilizó cal, y la relación cemento: arena es 1:2, lo que implica que el valor de $f = 2$.

Aplicando los valores obtenidos en los ensayos realizados, se obtiene el valor de C.

$$C = \frac{1000 - 301 - 30}{\frac{1}{3} + \frac{2}{2,512}} = 592,29 \text{ kg.}$$

- Determinación de la dosificación de arena.

La cantidad de arena está dada por:

$$F = f \times C = 2 \times 592,29 = 1.185 \text{ kg.}$$

- Corrección de la dosificación por humedad.

La arena utilizada en la elaboración del mortero se encuentra en estado húmedo, compuesta por la cantidad absorbida en el interior de los granos de arena, que corresponde al contenido de humedad del estado saturado superficialmente seco, y por el agua libre.

Por lo tanto al emplear arena con humedad libre se deben efectuar las siguientes correcciones:

- La cantidad de arena debe aumentarse en la misma cantidad en peso que el agua libre aportada.
- La cantidad de agua que se le agrega a la mezcla, debe ser disminuida en una cantidad igual al agua libre que aporta la arena.

Porcentaje de absorción de la arena = 1,91%

Porcentaje de humedad de la arena = 2,80%

$$H_f = 1.185 \times (0,0280 - 0,0191) = 10,55 \text{ kg.}$$

Finalmente al obtener es valor se corrigen las cantidades de arena y agua en peso, lo que resulta;

$$\text{Arena húmeda} = 1.185 + 10,55 = 1.196 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 301 - 10,55 = 290 \text{ lt/m}^3$$

En el cuadro resumen se observa la dosificación para 1 m³ de mezcla:

Tabla No 17

Mortero Grado	Aditivos (lts)	Cemento (kg/m ³)	Agua (lts)	Arena (D ≤ 2.38 mm.)		Asentamiento Cono (cm)
				(kg.)	(lts)	
M-20	2,5	592,29	290	1.196	887,24	4-6

ANEXO III

Solicitaciones de los elementos.

En este apartado se detallan los esfuerzos a que están sometidos cada uno de los elementos de la estructura, de acuerdo a las combinaciones de cargas.

Los valores entregados en el archivo de salida por el programa Awin, se entregan a continuación.

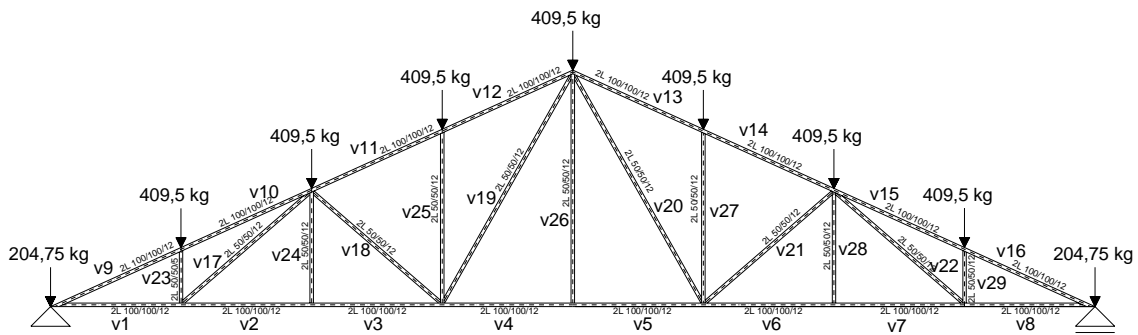


fig. No 61

E S F U E R Z O S				
	M33	V2	M22	V3
	[Kg*Cm]	[Kg]	[Kg*Cm]	[Kg]

Viga 1				
Estado pp=Peso Propio				
0%	0.00	-7.50	0.00	0.00
16%	0.00	-7.50	0.00	0.00
33%	0.00	-7.50	0.00	0.00
50%	0.00	-7.50	0.00	0.00
66%	0.00	-7.50	0.00	0.00
83%	0.00	-7.50	0.00	0.00
100%	0.00	-7.50	0.00	0.00
	Axial: 2021.15	[Kg]	Tor: 0.00	[Kg*Cm]
Estado sc=sobrecarga				
0%	0.00	-2.51	0.00	0.00
16%	0.00	-2.51	0.00	0.00
33%	0.00	-2.51	0.00	0.00
50%	0.00	-2.51	0.00	0.00
66%	0.00	-2.51	0.00	0.00
83%	0.00	-2.51	0.00	0.00
100%	0.00	-2.51	0.00	0.00
	Axial: 1167.61	[Kg]	Tor: 0.00	[Kg*Cm]
Estado vx=viento en x				
0%	0.00	0.02	0.00	0.00
16%	0.00	0.02	0.00	0.00
33%	0.00	0.02	0.00	0.00

16%	0.00	0.68	0.00	0.00
33%	0.00	0.68	0.00	0.00
50%	0.00	0.68	0.00	0.00
66%	0.00	0.68	0.00	0.00
83%	0.00	0.68	0.00	0.00
100%	0.00	0.68	0.00	0.00

Axial: 1340.14 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Viga 5

Estado pp=Peso Propio

0%	0.00	-0.37	0.00	0.00
16%	0.00	-0.37	0.00	0.00
33%	0.00	-0.37	0.00	0.00
50%	0.00	-0.37	0.00	0.00
66%	0.00	-0.37	0.00	0.00
83%	0.00	-0.37	0.00	0.00
100%	0.00	-0.37	0.00	0.00

Axial: 1153.99 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado sc=sobrecarga

0%	0.00	-0.13	0.00	0.00
16%	0.00	-0.13	0.00	0.00
33%	0.00	-0.13	0.00	0.00
50%	0.00	-0.13	0.00	0.00
66%	0.00	-0.13	0.00	0.00
83%	0.00	-0.13	0.00	0.00
100%	0.00	-0.13	0.00	0.00

Axial: 666.89 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado vx=viento en x

0%	0.00	-0.01	0.00	0.00
16%	0.00	-0.01	0.00	0.00
33%	0.00	-0.01	0.00	0.00
50%	0.00	-0.01	0.00	0.00
66%	0.00	-0.01	0.00	0.00
83%	0.00	-0.01	0.00	0.00
100%	0.00	-0.01	0.00	0.00

Axial: -33.63 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C1=pp+sc

0%	0.00	-0.93	0.00	0.00
16%	0.00	-0.93	0.00	0.00
33%	0.00	-0.93	0.00	0.00
50%	0.00	-0.93	0.00	0.00
66%	0.00	-0.93	0.00	0.00
83%	0.00	-0.93	0.00	0.00
100%	0.00	-0.93	0.00	0.00

Axial: 1821.63 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

0%	0.00	0.01	0.00	0.00
16%	0.00	0.01	0.00	0.00
33%	0.00	0.01	0.00	0.00
50%	0.00	0.01	0.00	0.00
66%	0.00	0.01	0.00	0.00
83%	0.00	0.01	0.00	0.00
100%	0.00	0.01	0.00	0.00

Axial: 839.79 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

0%	0.00	-0.17	0.00	0.00
16%	0.00	-0.17	0.00	0.00
33%	0.00	-0.17	0.00	0.00
50%	0.00	-0.17	0.00	0.00
66%	0.00	-0.17	0.00	0.00
83%	0.00	-0.17	0.00	0.00
100%	0.00	-0.17	0.00	0.00

Axial: 1340.14 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado sc=sobrecarga

0%	0.00	-0.61	0.00	0.00
16%	0.00	-0.61	0.00	0.00
33%	0.00	-0.61	0.00	0.00
50%	0.00	-0.61	0.00	0.00
66%	0.00	-0.61	0.00	0.00
83%	0.00	-0.61	0.00	0.00
100%	0.00	-0.61	0.00	0.00

Axial: -1280.33 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado vx=viento en x

0%	0.00	-0.02	0.00	0.00
16%	0.00	-0.02	0.00	0.00
33%	0.00	-0.02	0.00	0.00
50%	0.00	-0.02	0.00	0.00
66%	0.00	-0.02	0.00	0.00
83%	0.00	-0.02	0.00	0.00
100%	0.00	-0.02	0.00	0.00

Axial: 666.27 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C1=pp+sc

0%	0.00	-4.54	0.00	0.00
16%	0.00	-4.54	0.00	0.00
33%	0.00	-4.54	0.00	0.00
50%	0.00	-4.54	0.00	0.00
66%	0.00	-4.54	0.00	0.00
83%	0.00	-4.54	0.00	0.00
100%	0.00	-4.54	0.00	0.00

Axial: -3499.92 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

0%	0.00	-0.69	0.00	0.00
16%	0.00	-0.69	0.00	0.00
33%	0.00	-0.69	0.00	0.00
50%	0.00	-0.69	0.00	0.00
66%	0.00	-0.69	0.00	0.00
83%	0.00	-0.69	0.00	0.00
100%	0.00	-0.69	0.00	0.00

Axial: -1160.45 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

0%	0.00	-2.01	0.00	0.00
16%	0.00	-2.01	0.00	0.00
33%	0.00	-2.01	0.00	0.00
50%	0.00	-2.01	0.00	0.00
66%	0.00	-2.01	0.00	0.00
83%	0.00	-2.01	0.00	0.00
100%	0.00	-2.01	0.00	0.00

Axial: -2121.63 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

~~~~~  
Viga 16

Estado pp=Peso Propio

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -8.00 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -2212.77 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado sc=sobrecarga

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -2.67 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -1279.18 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado vx=viento en x

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -0.59 | 0.00 | 0.00 |

Axial: 606.57 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C1=pp+sc

|      |      |        |      |      |
|------|------|--------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -19.92 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -3491.36 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -2.39 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -1204.61 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -7.68 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -2163.63 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

~~~~~  
Viga 17

Estado pp=Peso Propio

0%	0.00	-0.43	0.00	0.00
16%	0.00	-0.43	0.00	0.00
33%	0.00	-0.43	0.00	0.00
50%	0.00	-0.43	0.00	0.00
66%	0.00	-0.43	0.00	0.00
83%	0.00	-0.43	0.00	0.00
100%	0.00	-0.43	0.00	0.00

Axial: 390.27 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado sc=sobrecarga

0%	0.00	-0.14	0.00	0.00
16%	0.00	-0.14	0.00	0.00
33%	0.00	-0.14	0.00	0.00
50%	0.00	-0.14	0.00	0.00
66%	0.00	-0.14	0.00	0.00
83%	0.00	-0.14	0.00	0.00
100%	0.00	-0.14	0.00	0.00

Axial: 225.02 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado vx=viento en x

0%	0.00	0.01	0.00	0.00
16%	0.00	0.01	0.00	0.00
33%	0.00	0.01	0.00	0.00
50%	0.00	0.01	0.00	0.00
66%	0.00	0.01	0.00	0.00
83%	0.00	0.01	0.00	0.00
100%	0.00	0.01	0.00	0.00

Axial: 50.72 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C1=pp+sc

0%	0.00	-1.06	0.00	0.00
16%	0.00	-1.06	0.00	0.00
33%	0.00	-1.06	0.00	0.00
50%	0.00	-1.06	0.00	0.00
66%	0.00	-1.06	0.00	0.00
83%	0.00	-1.06	0.00	0.00
100%	0.00	-1.06	0.00	0.00

Axial: 618.02 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

0%	0.00	-0.23	0.00	0.00
16%	0.00	-0.23	0.00	0.00
33%	0.00	-0.23	0.00	0.00
50%	0.00	-0.23	0.00	0.00
66%	0.00	-0.23	0.00	0.00
83%	0.00	-0.23	0.00	0.00
100%	0.00	-0.23	0.00	0.00

Axial: 329.60 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

0%	0.00	-0.59	0.00	0.00
16%	0.00	-0.59	0.00	0.00
33%	0.00	-0.59	0.00	0.00
50%	0.00	-0.59	0.00	0.00
66%	0.00	-0.59	0.00	0.00
83%	0.00	-0.59	0.00	0.00
100%	0.00	-0.59	0.00	0.00

Axial: 499.35 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

~~~~~  
 Viga 18

Estado pp=Peso Propio

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0%   | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -388.42 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado sc=sobrecarga

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0%   | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -224.40 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado vx=viento en x

|      |      |       |      |      |
|------|------|-------|------|------|
| 0%   | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -50.70 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C1=pp+sc

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0%   | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | 0.55 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -613.41 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0%   | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -328.91 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 0%   | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 16%  | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 33%  | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 50%  | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 66%  | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 83%  | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| 100% | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |

Axial: -497.31 [Kg] Tor: 0.00 [Kg\*Cm]

~~~~~  
Viga 19

Estado pp=Peso Propio

0%	0.00	0.01	0.00	0.00
16%	0.00	0.01	0.00	0.00
33%	0.00	0.01	0.00	0.00
50%	0.00	0.01	0.00	0.00
66%	0.00	0.01	0.00	0.00
83%	0.00	0.01	0.00	0.00
100%	0.00	0.01	0.00	0.00

Axial: 594.98 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado sc=sobrecarga

0%	0.00	0.00	0.00	0.00
16%	0.00	0.00	0.00	0.00
33%	0.00	0.00	0.00	0.00
50%	0.00	0.00	0.00	0.00
66%	0.00	0.00	0.00	0.00
83%	0.00	0.00	0.00	0.00
100%	0.00	0.00	0.00	0.00

Axial: 343.61 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado vx=viento en x

0%	0.00	0.01	0.00	0.00
16%	0.00	0.01	0.00	0.00
33%	0.00	0.01	0.00	0.00
50%	0.00	0.01	0.00	0.00
66%	0.00	0.01	0.00	0.00
83%	0.00	0.01	0.00	0.00
100%	0.00	0.01	0.00	0.00

Axial: 77.59 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C1=pp+sc

0%	0.00	0.01	0.00	0.00
16%	0.00	0.01	0.00	0.00
33%	0.00	0.01	0.00	0.00
50%	0.00	0.01	0.00	0.00
66%	0.00	0.01	0.00	0.00
83%	0.00	0.01	0.00	0.00
100%	0.00	0.01	0.00	0.00

Axial: 940.05 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

0%	0.00	0.05	0.00	0.00
16%	0.00	0.05	0.00	0.00
33%	0.00	0.05	0.00	0.00
50%	0.00	0.05	0.00	0.00
66%	0.00	0.05	0.00	0.00
83%	0.00	0.05	0.00	0.00
100%	0.00	0.05	0.00	0.00

Axial: 503.80 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

0%	0.00	0.08	0.00	0.00
16%	0.00	0.08	0.00	0.00
33%	0.00	0.08	0.00	0.00
50%	0.00	0.08	0.00	0.00
66%	0.00	0.08	0.00	0.00
83%	0.00	0.08	0.00	0.00
100%	0.00	0.08	0.00	0.00

Axial: 762.03 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Viga 20

Estado pp=Peso Propio

0%	0.00	-0.01	0.00	0.00
16%	0.00	-0.01	0.00	0.00
33%	0.00	-0.01	0.00	0.00
50%	0.00	-0.01	0.00	0.00
66%	0.00	-0.01	0.00	0.00
83%	0.00	-0.01	0.00	0.00
100%	0.00	-0.01	0.00	0.00

Axial: 594.98 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado sc=sobrecarga

0%	0.00	-0.00	0.00	0.00
16%	0.00	-0.00	0.00	0.00
33%	0.00	-0.00	0.00	0.00
50%	0.00	-0.00	0.00	0.00
66%	0.00	-0.00	0.00	0.00
83%	0.00	-0.00	0.00	0.00
100%	0.00	-0.00	0.00	0.00

Axial: 343.61 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado vx=viento en x

0%	0.00	-0.05	0.00	0.00
16%	0.00	-0.05	0.00	0.00
33%	0.00	-0.05	0.00	0.00
50%	0.00	-0.05	0.00	0.00
66%	0.00	-0.05	0.00	0.00
83%	0.00	-0.05	0.00	0.00
100%	0.00	-0.05	0.00	0.00

Axial: -337.55 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C1=pp+sc

0%	0.00	-0.01	0.00	0.00
16%	0.00	-0.01	0.00	0.00
33%	0.00	-0.01	0.00	0.00
50%	0.00	-0.01	0.00	0.00
66%	0.00	-0.01	0.00	0.00
83%	0.00	-0.01	0.00	0.00
100%	0.00	-0.01	0.00	0.00

Axial: 940.05 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C2=0.75pp+0.75vx

0%	0.00	0.02	0.00	0.00
16%	0.00	0.02	0.00	0.00
33%	0.00	0.02	0.00	0.00
50%	0.00	0.02	0.00	0.00
66%	0.00	0.02	0.00	0.00
83%	0.00	0.02	0.00	0.00
100%	0.00	0.02	0.00	0.00

Axial: 192.19 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx

0%	0.00	0.05	0.00	0.00
16%	0.00	0.05	0.00	0.00
33%	0.00	0.05	0.00	0.00
50%	0.00	0.05	0.00	0.00
66%	0.00	0.05	0.00	0.00
83%	0.00	0.05	0.00	0.00
100%	0.00	0.05	0.00	0.00

Axial: 450.30 [Kg] Tor: 0.00 [Kg*Cm]

33%	0.00	-0.60	0.00	0.00
50%	0.00	-0.60	0.00	0.00
66%	0.00	-0.60	0.00	0.00
83%	0.00	-0.60	0.00	0.00
100%	0.00	-0.60	0.00	0.00
		Axial: -266.54	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]
Estado sc=sobrecarga				
0%	0.00	-0.20	0.00	0.00
16%	0.00	-0.20	0.00	0.00
33%	0.00	-0.20	0.00	0.00
50%	0.00	-0.20	0.00	0.00
66%	0.00	-0.20	0.00	0.00
83%	0.00	-0.20	0.00	0.00
100%	0.00	-0.20	0.00	0.00
		Axial: -152.35	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]
Estado vx=viento en x				
0%	0.00	-0.09	0.00	0.00
16%	0.00	-0.09	0.00	0.00
33%	0.00	-0.09	0.00	0.00
50%	0.00	-0.09	0.00	0.00
66%	0.00	-0.09	0.00	0.00
83%	0.00	-0.09	0.00	0.00
100%	0.00	-0.09	0.00	0.00
		Axial: 146.98	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]
Estado C1=pp+sc				
0%	0.00	-1.49	0.00	0.00
16%	0.00	-1.49	0.00	0.00
33%	0.00	-1.49	0.00	0.00
50%	0.00	-1.49	0.00	0.00
66%	0.00	-1.49	0.00	0.00
83%	0.00	-1.49	0.00	0.00
100%	0.00	-1.49	0.00	0.00
		Axial: -427.04	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]
Estado C2=0.75pp+0.75vx				
0%	0.00	-0.11	0.00	0.00
16%	0.00	-0.11	0.00	0.00
33%	0.00	-0.11	0.00	0.00
50%	0.00	-0.11	0.00	0.00
66%	0.00	-0.11	0.00	0.00
83%	0.00	-0.11	0.00	0.00
100%	0.00	-0.11	0.00	0.00
		Axial: -85.81	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]
Estado C3=0.75pp+0.75sc+0.75vx				
0%	0.00	-0.45	0.00	0.00
16%	0.00	-0.45	0.00	0.00
33%	0.00	-0.45	0.00	0.00
50%	0.00	-0.45	0.00	0.00
66%	0.00	-0.45	0.00	0.00
83%	0.00	-0.45	0.00	0.00
100%	0.00	-0.45	0.00	0.00
		Axial: -202.81	[Kg]	Tor: 0.00 [Kg*Cm]

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFONSO OLVERA L. El Ferrocemento y sus aplicaciones. 2ª Edición 2002. México.2
2. Dr. Ing. HUGO WAINSHOTK R. Ferrocemento Diseño y Construcción. 3ª Edición 1998. Ecuador.
3. RAFAEL RIEDELL C., PEDRO HIDALGO O. Diseño Estructural. 2ª Edición 1999. Editorial Universidad Católica de Chile; Santiago, Chile.
4. "Manual de ensayos; áridos y Hormigón"; 1989, publicación del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
5. HERNAN ZABALETA G., JUAN EGAÑA. Manual del Mortero. 1998. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
6. NCh 165 Of. 77 "Áridos para Morteros y Hormigones -Tamizado y determinación de la Granulometría", Instituto Nacional de Normalización.
7. NCh 148 Of. 68 "Cemento - Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales". Instituto Nacional de Normalización.
8. Apuntes XIV Jornadas Chilenas del Hormigón. Últimos avances en la fabricación y construcción de viviendas en Ferrocemento. Autores: Víctor Carrasco B.- Ing. Constructor, Raúl Soto C.- Arquitecto. Octubre de 2003.
9. Mc CORMAC. Diseño de Concreto Reforzado. 4ª Edición 2002, México.
10. B.K. PAUL, R.P. PAMA. Ferrocemento. 2ª Edición 1992. México. Instituto Mexicano del Concreto.
11. Mc CORMAC. Diseño de Estructuras Metálicas. 4ª Edición 1999, México.

REFERENCIAS EN INTERNET

1. <http://www.ferrocement.com/espanol.html>
2. <http://www.acma.cl>
3. <http://www.sika.cl>
4. www.inchalam.cl