

Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil



**CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOCIAL DE ALTURA
EN FERROCEMENTO**

**Tesis para optar al título de
Constructor Civil**

**Profesor Guía
Sr. Hernán Arnés Valencia
Constructor Civil
Ingeniero Civil U.C.**

**LISETTE MARLENE SANTIBÁÑEZ BARRIENTOS
2004**

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a Dios, a mi mamita Gladis y a mi hermano Iván,
a mi hijo José Ignacio y a mi abuelita Ema, a don Nino y a ti abuelito Aníbal
(Q.E.P.D).

AGRADECIMIENTO

Agradezco de corazón a dios por haberme regalado la perseverancia y tenacidad que necesité para terminar mi carrera durante todos estos años.

Agradezco a mi mamita todos los sacrificios y desvelos que sostuvo durante años para darme estudios, manteniendo el apoyo, confianza y comprensión hacia mí.

Agradezco igualmente, a mi abuelita, hermano y don Nino la ayuda incondicional que en su momento me brindaron para poder cumplir mi tarea.

Doy gracias, a mi profesor guía Sr. Hernán Arnés Valencia por su ayuda y voluntad en obtener información necesaria para llevar a cabo esta misión.

A ti hijito, bendición del cielo que llegaste a este mundo para brindarme alegrías, te agradezco por haberme dado las fuerzas necesarias para sobrellevar desvelos de estudio.

Finalmente, y en forma muy especial y simbólica, a la persona que mantuvo la confianza y el apoyo hacia mí en todo lo que podía,..... a ti abuelito Aníbal que nos cuidas "allá arriba"; te agradezco de corazón tu incondicionalidad.

A todos los que de alguna manera me brindaron su apoyo, gracias.

INDICE

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

SUMMARY

INTRODUCCIÓN 1

RESEÑA HISTÓRICA 4

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL FERROCEMENTO

1.	DEFINICIÓN DEL FERROCEMENTO	8
2.	IMPORTANCIA	8
3.	CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL SISTEMA	
	3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	8
	3.2. VENTAJAS DEL SISTEMA	9
4.	APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN CHILE	
	4.1. GENERALIDADES	10
	4.2. UTILIZACIÓN EN AMBIENTE MARINO	12
	4.3. UTILIZACIÓN EN EDIFICACIÓN	15
5.	CERTIFICADO	18

CAPÍTULO II: MATERIALES COMPONENTES DEL FERROCEMENTO

1.	GENERALIDADES	19
2.	NORMATIVA	19
3.	CEMENTO	

3.1.	DEFINICIÓN	20
3.2.	CLASIFICACIÓN	21
3.3.	CARACTERÍSTICAS	22
3.4.	ALMACENAMIENTO	24
4.	LOS AGREGADOS	
4.1.	GENERALIDADES	26
4.2.	GRANULOMETRÍA	27
4.3.	OTROS REQUISITOS	28
4.4.	ALMACENAMIENTO	29
5.	AGUA	31
6.	ADITIVOS	33
7.	ARMADURA PARA FERROCEMENTO	
7.1.	GENERALIDADES	35
7.2.	TIPOS Y CARACTERÍSTICAS	
7.2.1.	<u>Armadura Difusa</u>	
A.	Malla de alambre de tejido hexagonal	36
B.	Malla de alambre de tejido cuadrado	37
C.	Malla electrosoldada de tejido cuadrado o rectangular	37
D.	Malla de metal desplegado	38
7.2.2.	<u>Armadura Discreta</u>	
A.	Armadura de esqueleto	38
B.	Armadura suplementaria	39

CAPÍTULO III: ENSAYOS REALIZADOS Y ASPECTOS DEL DISEÑO

1.	GENERALIDADES	40
2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL	
	2.1. CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS MECÁNICOS	40
	2.1.1. Resistencias a controlar	40
	2.1.2. Normas para la ejecución de ensayos	41
	2.1.3. Resistencias obtenidas	43
	2.2. CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS NO MECÁNICOS	43
3.	MONITOREO TÉRMICO DE LA VIVIENDA	
	3.1. ANTECEDENTES	44
	3.2. MÉTODO	
	3.2.1. Características de la vivienda	45
	3.2.2. Métodos de ensaye	45
	3.2.3. Pruebas de consumo energético	46
	3.2.4. Pruebas de permeabilidad al aire	46
	3.2.5. Pruebas de capacidad de respuesta térmica de la vivienda	48
	3.3. INSTRUMENTACIÓN	48
	3.4. RESULTADOS	
	3.4.1. Coeficiente volumétrico de pérdida térmica	49
	3.4.2. Características de permeabilidad al aire de la vivienda	50
	3.4.3. Capacidad de respuesta térmica de la vivienda	51
4.	CONTROL DE CALIDAD DE FABRICACIÓN	52
5.	ASPECTOS DEL DISEÑO	58

CAPÍTULO IV: FABRICACIÓN DE PARTES Y COMPONENTES DEL SISTEMA

1.	GENERALIDADES	64
2.	MATERIALES	
	2.1. PARA EL MORTERO	65
	2.2. PARA EL HORMIGÓN	67
	2.3. PARA LA ARMADURA	67
	2.4. PARA EL MOLDAJE	68
	2.5. ADITIVOS	69
	2.6. ADICIONES	70
3.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS	
	3.1. ELABORACIÓN DEL MORTERO	70
	3.2. PREPARACIÓN DE ARMADURAS PARA PANELES DE MURO	71
	3.3. PREPARACIÓN DE ARMADURAS PARA LOSAS PREFABRICADAS	72
	3.4. ARMADO DEL MOLDAJE	73
	3.5. COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS, LLENADO DE MOLDES Y COMPACTACIÓN	
	3.5.1. En el panel de muro con cara expuesta amoldada	74
	3.5.2. Para el muro con cara expuesta terminada mediante allanado.	75
	3.5.3. En losas prefabricadas	76
	3.5.4. Verificación de dimensiones	77

3.5.5.	Llenado de las partes y piezas	78
3.6.	DESMOLDE	79
4.	TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CURADO	80
5.	TRANSPORTE DE LOS PREFABRICADOS A OBRA	81
6.	ALMACENAMIENTO DE LOS COMPONENTES A PIE DE OBRA	81

CAPÍTULO V: SECUENCIA CONSTRUCTIVA DE VIVIENDA EN FERROCEMENTO EN TRES NIVELES

1.	GENERALIDADES	82
2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	83
3.	EJECUCIÓN	
3.1.	GENERALIDADES	85
3.2.	LIMPIEZA DEL TERRENO	85
3.3.	TRAZADOS Y NIVELES	86
3.4.	EXCAVACIONES	86
3.5.	COMPACTACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN	87
3.6.	FUNDACIONES	
3.6.1.	Generalidades	88
3.6.2.	Moldajes	88
3.6.3.	Cimientos de hormigón	89
3.6.4.	Sobrecimientos de hormigón	89
3.7.	RELLENOS COMPACTADOS	90
3.8.	RADIER AFINADO	91
3.9.	VERIFICACIÓN DE CALCE DE LOS PANELES DE MUROS	93
3.10.	SISTEMA DE APOYO PROVISIONAL DE LOS PANELES	93

	DE MUROS EXTERIORES	
	3.11. COLOCACIÓN PANEL EXTERIOR DE MUROS	94
	3.12. TRATAMIENTO TÉRMICO	95
	3.13. COLOCACIÓN PANEL INTERIOR DE MUROS	96
	3.14. CONFORMACIÓN DE PILARES	97
	3.15. RASGOS DE VENTANAS	97
	3.16. COLOCACIÓN DE CADENAS Y DINTELES	98
	3.17. MONTAJE DE ELEMENTOS DE CUBIERTA	99
4.	TERMINACIONES	100
	4.1. TERMINACIONES PARAMENTOS	100
	4.2. TERMINACIONES PISO	101
	4.3. VENTANAS	101
5.	INSTALACIONES	101

CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN DE COSTOS

1.	GENERALIDADES	102
2.	CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN PARA VIVIENDAS EN FERROCEMENTO	
	2.1. PARA VIVIENDAS DE 63.80 m ² EN DOS PISOS Y MANSARDA	
	2.1.1. Primera Etapa	102
	2.1.2. Segunda Etapa	103
	2.2. PARA VIVIENDAS DE 48.28 m ² EN DOS PISOS	
	2.2.1. Primera Etapa	103
	2.2.2. Segunda Etapa	103

2.3.	PARA VIVIENDAS DE 48.28 m ² EN UN PISO	
2.3.1.	Primera Etapa	104
2.3.2.	Segunda Etapa	104
3.	COSTOS	
3.1.	VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS DE TRES PISOS	104
3.2.	VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS EN DOS PISOS	104
3.3.	VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS DE UN PISO	105
4.	COMPARACIONES	105
	CONCLUSIONES	106
	ANEXOS	
	ANEXO A: DIMENSIONES GEOMÉTRICAS PANEL TIPO	108
	ANEXO B: DETALLE ENFIERRADURA PANEL TIPO	110
	ANEXO C: DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA VIVIENDA EN TRES NIVELES	111
	BIBLIOGRAFÍA	119

RESUMEN

Entregar una recopilación de antecedentes sobre el ferrocemento como sistema constructivo, aplicado a viviendas sociales y de todo tipo, en base a las bondades que presenta esta tecnología. Además, de los métodos de producción industrializada al que es sometido.

Pues, con ello, demostrar la factibilidad de economía que presentaría el material en estudio y la mejora en la calidad de las soluciones habitacionales.

SUMMARY

In this summary we pretend to get together some documents that talks about the Ferrocement as a constructive system; which is applied to social houses related to this kind of technology, including the industrialized production's methods.

Taking into account the economy that this material needs to improve the quality of these social houses intend to prove.

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 explotar sus potencialidades y campos de aplicación.

En nuestro país, ésta investigación se desarrolla con el apoyo adicional de algunas empresas constructoras interesadas en este sistema constructivo durante los años 2000 y 2001, concluyendo en el mes de junio del 2002.

En Chillán, la Empresa Constructora Pablo Torres y Cía. inició la primera fabricación industrial de un tipo de paneles en ferrocemento, construyendo las primeras viviendas experimentales en el ámbito del subsidio rural. Con el apoyo de Cementos Bío Bío postula a licitaciones para la construcción de poblaciones y ejecuta en el año 2001 su primer conjunto habitacional de 50 casas.

Hoy ya cuenta con un significativo número de viviendas construidas, incursionando también en la construcción de escuelas, comedores y casas de mejor nivel. Inclusive esta empresa terminó las oficinas de la CONADI en Ralco, Alto Bío Bío.

Otra construcción fue la del Proyecto F.D.I, prototipo de vivienda de 3 pisos, aquí se corrigen y mejoran todos los aspectos técnicos y de habitabilidad obtenida del análisis de los resultados y de las experiencias ejecutadas anteriormente,

incorporando tecnología y métodos de producción industrializada, incrementando la productividad y calidad de la vivienda.

La fabricación industrializada y estandarizada hace que estas viviendas tengan tiempos de construcción muy inferiores a las viviendas tradicionales y eliminan en un 80% las partidas ejecutadas en obra.

Las viviendas tienen parámetros térmicos cuyo estándar es muy cercano en este aspecto a los exigidos para viviendas europeas. Estos valores permiten cumplir sin problemas la futura normativa chilena que pudiese exigirse.

Sin embargo, en nuestro país, el desarrollo del ferrocemento principalmente está ubicado en la zona sur; en la parte marítima tiene un camino claro y definido; en la parte habitacional se están desarrollando sistemas que están enfocados a la Industria del prefabricado, a la prefabricación de los diferentes elementos componentes de una vivienda, lo que lleva consigo un control de calidad muy eficiente, tanto en la industria con el proceso de prefabricación, como también en la obra con la rapidez del montaje. Esto permite disminuir la cantidad de partidas en obra, lo que lleva a un costo relativamente menor en relación con los sistemas tradicionales.

En breve, se puede decir que esta investigación consta de cinco capítulos íntimamente relacionados, que tratan de diferentes aspectos del ferrocemento: los materiales que lo componen, los diferentes procedimientos de construcción, sus propiedades mecánicas, nociones mínimas de diseño y ensayos realizados, entre otros.

La primera parte, presenta en forma concisa toda la información relacionada con el ferrocemento aplicado a viviendas y en ambiente marino en nuestro país. Como así también, las características y ventajas del sistema.

La segunda parte del tema, está enfocada en los diversos materiales constituyentes del ferrocemento, con sus respectivas características que tienen que cumplir según la Norma Chilena.

La tercera parte de esta investigación, tiene por finalidad entregar los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio a los cuales ha sido sometido el ferrocemento, utilizando sólo materiales nacionales; y de esta manera, poder cuantificar las propiedades mecánicas mínimas necesarias del ferrocemento. Esta información está basada en las últimas investigaciones presentadas por la Universidad del Bío Bío de Concepción.

La cuarta parte, señala el proceso de fabricación de las partes y piezas del ferrocemento, con sus respectivas condiciones de almacenamiento y transporte en obra; y la quinta parte, muestra el proceso constructivo de una vivienda constituida por este material.

Por último, se realiza un análisis comparativo de costos entre una edificación con gran parte en ferrocemento y una edificación en madera.

Finalmente, se presentan las respectivas conclusiones del tema.

RESEÑA HISTÓRICA

Joseph Louis Lambot inventó el ferrocemento en Francia, el año 1848. Su primera aplicación consistió en un bote a remos construido en 1849. En 1856, Lambot obtuvo patentes francesas y belgas con el nombre de "Ferciment". Uno de sus botes aún se encontraba a flote en 1949, es decir, cien años después. Este se exhibe en un museo de Brignoles, Francia, y en muy buenas condiciones.

En 1887, se construyó un bote similar en Holanda, el que, con casi 100 años de antigüedad, aún flota en el lago de Los Pelícanos, en el zoológico de Ámsterdam. A partir de esta fecha y a principios de 1900, se construyeron pequeños botes de motor y barcos de río, incluyendo la primera embarcación de hormigón que utilizó el Gobierno de Estados Unidos, a la que se le dio nombre de "Concreta".

Durante la Primera Guerra Mundial se construyeron barcos con este material lo que permitió desarrollar y mejorar la técnica. Este impulso se debió a la escasez de materiales tradicionales.

No se obtuvieron más antecedentes acerca del uso del ferrocemento, hasta que un notable Ingeniero-Arquitecto italiano Pier Luigi Nervi empezó a experimentar con el ferrocemento, para construir embarcaciones durante la Segunda Guerra Mundial. Nervi inició una serie de experimentos con este material, y observó que el ferrocemento poseía las características mecánicas de un material casi homogéneo capaz de resistir fuertes impactos. Es decir, reforzando el mortero con diversas capas de malla de alambre, se obtenía un material que presentaba extraordinarias características mecánicas, gran

resistencia al impacto y gran capacidad de reflejar grieta. A través de una serie de pruebas, estableció las características preliminares del material. Diseñó y construyó diversas techumbres que se conservan hasta nuestros días como modelos racionales y estéticos del diseño estructural y arquitectónico.

Después de la Segunda Guerra Mundial, Nervi construyó el moto-velero Irene de 165 toneladas, con casco de ferrocemento de 3,6 cm. de espesor y un peso inferior en 5% al de una embarcación similar de madera, y al 40% del costo de una de madera.

Además, en 1947 construyó una pequeña bodega; posteriormente, techó la alberca de la Academia Naval Italiana con una cubierta de 15 m y después techó la famosa Exhibition Hall en Turín, con una luz libre de 91 m. en ambas estructuras se usó ferrocemento como uno de los elementos estructurales, el cual se combinó con hormigón armado "in situ" para materializar las nervaduras.

A principios de la década de los sesenta, se logra una buena aceptación del ferrocemento. En 1958 se construye en la Unión Soviética la primera estructura de ferrocemento con techo de bóveda sobre un centro comercial en Leningrado. Desde entonces, se han construido con ferrocemento alrededor de 10 millones de metros cuadrados de techumbres. La mayor de estas estructuras tienen claros libres entre 24 y 30 m, con techos de ferrocemento de aproximadamente 1 a 2 cm. de espesor.

En 1959, el Sr. M.W. Sulherland, es el pionero en barcos de ferrocemento en el desarrollo de la industria de construcción de barcos en Nueva Zelanda. Utilizando dos sacos de cemento y una cierta cantidad de malla de alambre

hexagonal construye un barco de recreo. Posteriormente forma una compañía llamada Ferrocement Ltda., dedicada a la construcción de más de 50 barcos pequeños.

En 1965, el "Awahree", yate de ferrocemento de 16 m de largo, construido en Nueva Zelanda y propiedad de un estadounidense, da la vuelta al mundo sin sufrir daños serios. Desde entonces, el uso de las construcciones de ferrocemento ha ido en aumento en todo el mundo.

En 1971, la Ferrocement Marine Construction Ltda. construye en Hong Kong un barco de ferrocemento llamado "Rosalyn I" con 26 m de largo y considerado como el más grande de los barcos pequeños de ferrocemento en el mundo.

En 1972, la U.S. National Academy of Sciences, a través del Consejo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Internacional, organizó una mesa redonda sobre el uso del ferrocemento en países en desarrollo y en 1973, emitió un informe que tuvo un gran impacto sobre la aplicación del ferrocemento. Lo identificó como un material de tecnología apropiada inadvertida, con amplio potencial de aplicaciones.

En 1974, El Instituto Asiático de Tecnología y la Academia de Ciencias de Estados Unidos reunidos en Bangkok, analizaron la utilidad del ferrocemento; participan ingenieros, científicos, administradores y hombres de negocios. Este taller recomendó establecer un servicio internacional de información sobre el ferrocemento para recopilar, procesar y definir información. Y en 1975, el American Concrete Institute forma su comité 549, para hacerlo posible.

En 1976, se funda el Centro Internacional de información del Ferrocemento (IFIC), en el Instituto Asiático de Tecnología, en Bangkok, Tailandia. Actúa como un centro de recopilación de información sobre el ferrocemento y publica la revista "Journal of Ferrocement", que originalmente fue publicada en Nueva Zelanda. Actualmente esta revista es el principal medio de publicación de dicho centro y la revista periódica más importante en lo que respecta a información sobre ferrocemento.

En 1979, la RILEM (Unión Internacional de Laboratorios de Pruebas e Investigación de Materiales y Estructuras) establece el comité 48-FC, para evaluar métodos de prueba para el ferrocemento.

Actualmente, en Brasil, en la Universidad de Sao Paulo, se han hecho numerosos estudios que han usado de base para su aplicación este producto, en el área de techumbres y servicios comunitarios. Se han desarrollado además, industrias de prefabricados de ferrocemento en varias ciudades de este país, donde actualmente se prefabrican escuelas completas y construcción de una planta de agua.

En Chile, las Empresas Constructoras Pablo Torres y Rivano se han dedicado a la construcción de viviendas en ferrocemento.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DEL FERROCEMENTO

1. DEFINICIÓN

El ferrocemento se considera una alternativa versátil de material compuesto. Hecho de una capa delgada de mortero de cemento y reforzado en su interior con capas de malla continuas de alambre de pequeño diámetro (como un emparrillado), que se distribuyen uniformemente en toda su sección transversal, ligado internamente para crear una estructura rígida. Este material es una forma especial de mortero reforzado común.

2. IMPORTANCIA

El ferrocemento tiene la capacidad de sustituir, en aplicaciones específicas, algunos de los materiales usados en la construcción. La tecnología del ferrocemento se ha desarrollado de tal forma, que ya se calcula y diseña con este material, tanto en viviendas como en embarcaciones o similares.

3. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL SISTEMA

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

- a.** Montaje manual o mecanizado.
- b.** No requiere de equipos sofisticados para su confección y montaje.

- c. Permite alternativas de superficie al adquirir, y el crecimiento posterior.
- d. Permite distintos grados de terminaciones desde el más económico, en los paramentos interiores y exteriores hasta texturas y colores incorporados, pinturas, gravillados, etc.
- e. Cumple satisfactoriamente los requerimientos de seguridad y confort, indicados en la normativa nacional.
- f. Durabilidad garantizada por la calidad del material y del sistema constructivo, no traspasando gastos de mantención al usuario.
- g. Costo competitivo frente a las construcciones tradicionales.
- h. El sistema permite que todas las canalizaciones estén dentro del sistema, entrega muros limpios de instalaciones.
- i. Permite la producción en serie de los paneles, con una reducida cantidad de personal, en elaboración y montaje.
- j. Excelentes cualidades estructurales, sísmicas y de resistencia al fuego.
- k. Impermeabilidad al agua garantizada.
- l. Ahorro importante de empleo de calefacción.
- m. Mayor privacidad debido a su alto nivel de resistencia.

3.2. VENTAJAS DEL SISTEMA

- **Más rápido:** De simple, fácil y rápida instalación.
- **Más resistente:** Excelentes cualidades estructurales, sísmicas y al fuego.

- **Más durable:** No existen los problemas comunes a los sistemas convencionales. No hay descomposición, hongos, termitas ni eflorecencias, de ningún tipo.
- **Más aislación térmica:** El panel conforma una buena aislación, logrando un eficiente control de la temperatura.
- **Más aislación acústica:** Sus propiedades acústicas, garantizan un ambiente tranquilo de acuerdo a las normas.
- **Más variedad en terminaciones:** Permite distintos grados de terminaciones, desde el más económico (panel en bruto), hasta colores y texturas incorporados durante la fabricación del panel.
- **Más ahorro energético:** Presenta un valor “G” menor, lo que significa que para mantener un ambiente confortable requiere una menor cantidad de energía que otras soluciones tradicionales.

4. APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN CHILE

4.1. GENERALIDADES

El ferrocemento en su actual estado de desarrollo ha encontrado extensa aplicación en diferentes campos: utilización en el ambiente marino y utilización en edificación.

En obra de arquitectura, se destaca las aplicaciones en casetas sanitarias, viviendas de uno y dos pisos, colegios, postas, oficinas, instalaciones deportivas (camarines, baños), bibliotecas comunitarias, instalaciones bomberiles, de Carabineros y otras.

Es así, que el ferrocemento se considera como una tecnología sustentable en el desarrollo de los pueblos, por diversas razones, entre ellas tenemos:

- ◊ Materiales básicos disponibles en la mayoría de los países.
- ◊ No requiere de maquinaria pesada.
- ◊ Es fácilmente reparable.
- ◊ Puede fabricarse de muy variadas formas.

En nuestro país el desarrollo está ligado en sus primeros usos a embarcaciones en la zona de Valparaíso, donde se construyeron algunos barcos de pesca, no prosperando debido a dificultades económicas. En 1989, se reinicia en la ciudad de Puerto Montt, región de Los Lagos, la creación del primer astillero por la Empresa Ferrosur.

A partir de esa fecha, Ferrosur ha desarrollado esta tecnología construyendo todo tipo de embarcaciones de ferrocemento, ferrocemento-hormigón y hormigón, tales como: bodegas flotantes (para la industria salmonera), casas flotantes, muelles de hormigón, plantas de hielos flotantes, boyas, etc.

En vivienda existen intentos aislados de aplicaciones en la zona central, Valdivia, Temuco, pero el centro del desarrollo se sitúa en la zona de Concepción. En el año 1994, se desarrolla el primer proyecto Fontec, que dio como resultado una vivienda prefabricada de 46 m², en un piso, con paneles doble cámara de aire en ferrocemento. A partir de este proyecto se han construido viviendas en la zona de Coronel, Chillán, Talca y Concepción. Destaca la Empresa Pablo Torres de

Chillán, que ha construido del orden de 200 viviendas en los últimos dos años y la Empresa Constructora Riva no.

4.2. UTILIZACIÓN EN AMBIENTE MARINO

El desarrollo en la zona de Puerto Montt comienza con las primeras plataformas flotantes, para bodegas de almacenamiento de alimento para salmones, enteramente fabricadas en ferrocemento, con mortero colocado a mano. Posteriormente, se fue innovando y el mortero se coloca fluido dentro de los moldajes. Parte de la estructura de estas plataformas se hacen en hormigón. Las plataformas son en algunos casos un híbrido entre ferrocemento y hormigón.

La Empresa Ferrosur ha construido desde 1989 a la fecha: 175 bodegas, 14 muelles flotantes, 3 casas e innumerables otros elementos hechos con cemento.



Fig. N° 1

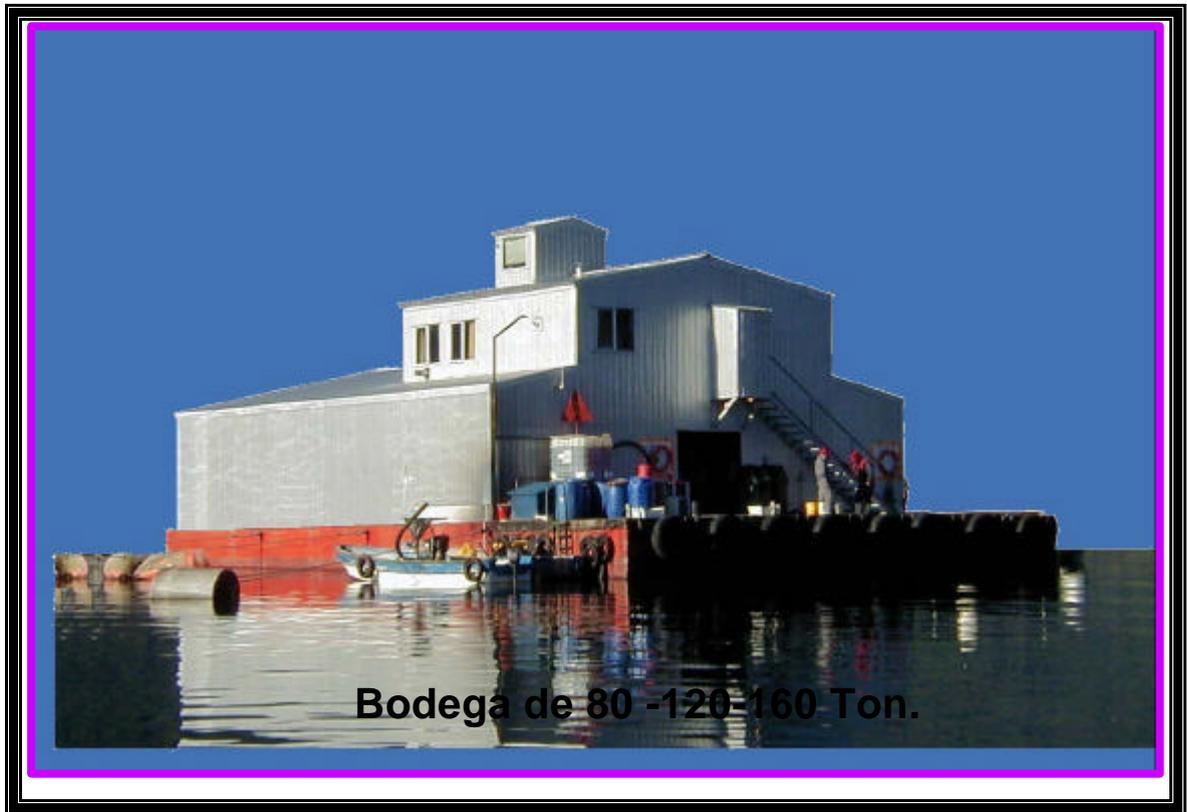


Fig. N° 2



Fig. N° 3



Fig. N° 4

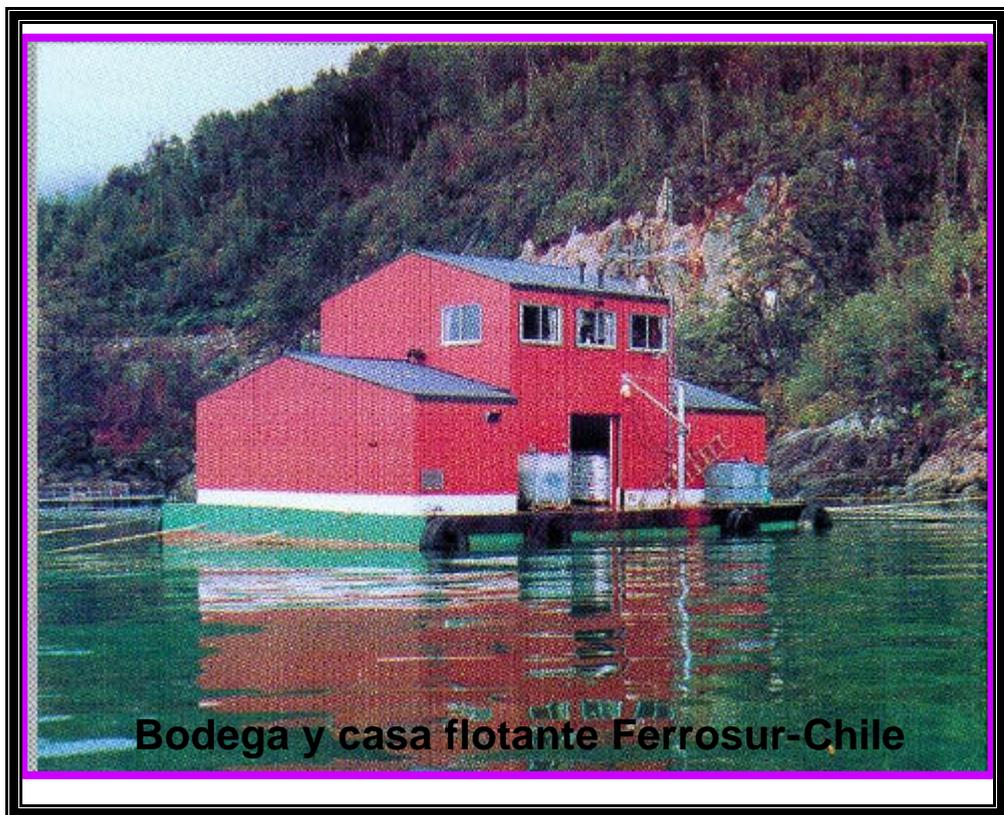


Fig. N° 5



Fig. N° 6

4.3. UTILIZACIÓN EN EDIFICACIÓN

El ferrocemento es un gran material de fácil adquisición, por el bajo costo, y muy efectivo en la industria de la edificación, particularmente en el área de la vivienda social. Se pueden diseñar y construir desde elementos monumentales de producción única hasta viviendas de poblaciones populares de ejecución en serie.

Teniendo como base el Proyecto Fontec del año 1994 y terminado el año 1996, para viviendas de un piso (Fig. N° 7), se pretendió en el proyecto F.D.I. de la CORFO, llevado a cabo en la Universidad del Bío Bío, con el apoyo de Cementos Bío Bío, desarrollar e implementar en nuestro país la prefabricación e industrialización de la construcción de viviendas de 1 a 3 pisos, con paneles doble cámara de aire en ferrocemento.



Fig. N° 7

La industria de prefabricados en ferrocemento es una excelente alternativa para nuestro país, dado que está integrada por máquinas y equipos simples y de adecuada productividad, lo que puede justificar su inversión en la medida que se genere un mercado conveniente para el uso de sistemas constructivos en ferrocemento. Además, presenta la ventaja de permitir la producción de diversos tipos de partes y piezas que son complementarias al uso habitacional, tales como: cierros vibrados, postes, cámaras, canaletas de aguas lluvias, soleras, adocretos, pastelones, etc.

Aquí se muestran algunas de las construcciones realizadas por la Constructora Pablo Torres en Chillán.



Fig. N° 8

Esc. -373 Campanarios

Chillán

Fig. N° 9

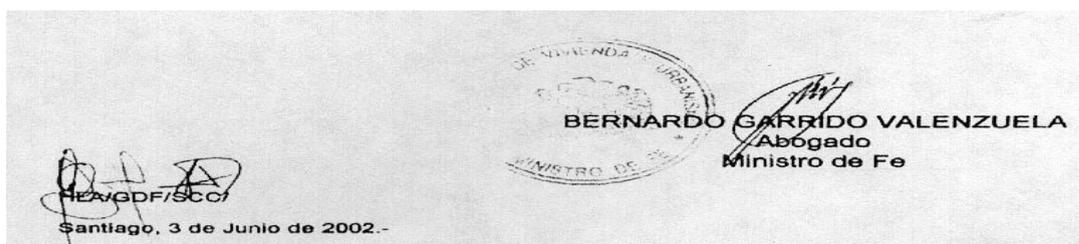


Fig. N° 10



Realizado por Constructora Rivano-Talca
Fig. N° 11

5. CERTIFICADO



CAPÍTULO II

MATERIALES COMPONENTES DEL FERROCEMENTO

1. GENERALIDADES

Los materiales que se emplean en la fabricación del ferrocemento, deben cumplir ciertas características que son, en gran medida, similares a las que deben tener estos materiales, en otros usos de la construcción.

2. NORMATIVA

La ejecución de los trabajos se ciñe en las Normas INN en su contexto general, y en particular a las siguientes:

- ◆ NCh 170 of. 85 Hormigones Requisitos Generales.
- ◆ NCh 204 of. 67 Barras con resalte para hormigón.
- ◆ NCh 1189 E of. 77 Madera. Construcciones en madera.
- ◆ NCh 163 of. 51 Áridos para Morteros y Hormigones.
Requisitos Generales.
- ◆ NCh 1175 of. 77 Construcción. Alambre de Acero.
Condiciones de uso en Hormigón Armado.
- ◆ NCh 789 of. 72 Clasificación de Maderas Comerciales para
durabilidad natural.
- ◆ NCh 1207 of. 78 Madera aserrada de pino insigne

- ◆ Ordenanza General de Construcciones.

3. CEMENTO

3.1. DEFINICIÓN

La norma NCh 148 of.68 define el cemento como: "un material pulverizado que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire".

En la construcción de elementos de ferrocemento, el cemento Portland es el más comúnmente utilizado, debido a que es el representante más genuino de los conglomerantes hidráulicos y la NCh 148 of.68 lo define de la siguiente forma: *"Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso, y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado"*.

Existen muy variados tipos de cemento cuyo componente principal es el clinker del cemento Portland, el cual es definido de la siguiente forma: *"El clinker es la masa aglutinada que resulta de la calcinación, a la temperatura de fusión incipiente, de una mezcla íntima de sustancias calcarias y arcillosas y/o materiales que contengan óxidos de silicio, aluminio y fierro, debidamente proporcionados y finamente molidos"*.

3.2. CLASIFICACIÓN

La norma NCh 148 of. 68 establece dos clasificaciones para los cementos nacionales, según su composición y su resistencia en la forma que se indican en las tablas N° 1 y N°2.

Los cementos se clasifican, de acuerdo a su composición, en las siguientes clases:

- a. Cemento Portland.
- b. Cemento Siderúrgico:
 - Cemento Portland siderúrgico.
 - Cemento siderúrgico.
- c. Cemento Puzolánico:
 - Cemento Portland Puzolánico.
 - Cemento puzolánico.
- d. Cemento con fines especiales.

Los cementos de cada una de las clases indicadas anteriormente, se clasifican, además, de acuerdo con su resistencia, en dos grados:

- Cemento corriente.
- Cemento de alta resistencia.

TABLA N°1

Clasificación de los Cementos según su Composición

DENOMINACION	CLINQUER	PUZOLANA	ESCORIA
Pórtland	100%	-	-
Pórtland Puzolánico	=70%	=30%	-
Pórtland Siderúrgico	=70%	-	=30%
Puzolánico	50-70%	30-50%	-
Siderúrgico	25-70%		30-75%

TABLA N° 2

Características Especificadas para los Cementos Nacionales

GRADO	TIEMPO FRAGUADO		RESISTENCIAS MÍNIMAS			
			COMPRESION		TRACCION	
	Inicial (min.)	Final (máx.)	7 días kgf/cm ²	28 días kgf/cm ²	7 días kgf/cm ²	28 días kgf/cm ²
Corriente	60 min.	12 h	180	250	35	45
Alta	45 min.	10 h	250	350	45	55

En casos eventuales, puede ser necesario determinar directamente las características del cemento que se va a emplear en obra. Para este objeto debe recurrirse a efectuar ensayos normalizados.

3.3. CARACTERÍSTICAS

El cemento que normalmente se utiliza en la construcción de elementos de ferrocemento, es el cemento Portland corriente, según NCh 148, y es

recomendado por numerosos investigadores que ha obtenido excelentes resultados en las experiencias realizadas.

Algunos productos naturales o artificiales adicionados al clinker dan cementos Portland especiales que, además de mantener las propiedades típicas del Portland puro (fraguado y resistencia), poseen propiedades especialmente relacionadas con la durabilidad y la resistencia química. Entre los productos más conocidos y utilizados están las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias básicas granuladas. La norma NCh 148, los clasifica de acuerdo a su composición, descrito en el punto 3.2. Estos tipos de cementos Portland pueden ser utilizados si se necesitan propiedades especiales tales como una alta resistencia a tempranas edades, o una buena resistencia al ataque de los sulfatos al ser utilizaciones marinas.

Las diferentes características de los cementos Portland con adiciones que son fabricados en Chile, se pueden resumir de la siguiente forma: (todas las características enumeradas más adelante, están comparadas con respecto al cemento Portland)

a. Cemento siderúrgico

- ◆ Cemento Portland siderúrgico: tiene poca diferencia en general, con el cemento Portland.
- ◆ Cemento siderúrgico:
 - Fraguado y endurecimiento más lento.
 - Bajo calor de hidratación.
 - Requiere de un curado más cuidadoso a tempranas edades, por pérdida prematura de humedad.

- Mayor resistencia a agentes agresivos (aguas salenitasas, ácidas, sulfatadas o muy puras).

b. Cementos puzolánicos

- Menor calor de hidratación.
- Mayor resistencia química a agentes agresivos.
- Menor retracción.
- Menor velocidad de fraguado.
- Menor velocidad de endurecimiento.
- Mayores resistencias finales.

Las propiedades de cada uno de los distintos tipos de cemento Portland anteriormente descritos, son proporcionales a la cantidad de adición que se les coloque y, a menudo, cuando se requiere aprovechar al máximo alguna propiedad, es a costa de la disminución de otras características; en la práctica se busca un equilibrio entre ellos.

3.4. ALMACENAMIENTO

Para prevenir la hidratación y envejecimiento del cemento, se recomiendan las siguientes medidas:

A. Cuando el cemento se acopia en bolsas:

- Debe contarse con bodegas cerradas, sin aberturas en las paredes; techumbres que tengan pendientes adecuadas para el escurrimiento del agua de lluvia; cubiertas que garanticen impermeabilidad y aleros

de unos 80 cm. para obras de cierta duración, en ambientes húmedos es conveniente que las paredes sean dobles.

- El piso debe ser de tablones y debe estar separado del suelo natural, por lo menos 20 cm., para evitar el paso de la humedad a las bolsas de cemento.
 - Las bolsas formarán pilas de hasta 10 unidades, manteniéndose juntas entre ellas, sin que queden en contacto con las paredes exteriores.
- B.** El cemento deberá emplearse cronológicamente por orden de llegada. Es conveniente fechar las partidas, para evitar que queden sacos rezagados.
- C.** Cuando el cemento se acopia a granel, debe mantenerse en silos, evitando que éstos no presenten roturas por las cuales podría penetrar humedad y formar aglomeraciones de cemento endurecido interiormente, que al desprenderse pueden bloquear y dañar el equipo.
- D.** Siempre es conveniente examinar el cemento que se está empleando al momento de medirlo, observando si hay grumos y verificando la resistencia que oponen a la presión de los dedos: si se deshacen fácilmente no existe riesgo de emplearlo, pero si presenta cierta resistencia al deshacerse, significa que el cemento se ha hidratado parcialmente y, en consecuencia, no deberá usarse sin un examen previo de laboratorio.

4. LOS AGREGADOS

4.1. GENERALIDADES

Los áridos para mortero son aquellos materiales pétreos constituidos por trozos duros, de forma estable, inertes, con el conglomerante y de dimensiones adecuadas; éstos cumplen dos funciones dentro del mortero:

- ◆ Son elementos inertes que conforman un esqueleto rígido que, aminora las deformaciones propias del conglomerante.
- ◆ Disminuyen el costo del mortero al ocupar un gran volumen dentro de la masa a un costo comparativamente bajo

Por el gran volumen ocupado por los áridos, es que la calidad del mortero resultante dependerá, en gran medida, de las características que presenten estos áridos.

Normalmente son arenas de tamaño nominal de 5 mm, dependiendo el tamaño máximo, en definitiva, del espesor. Es el caso en estructuras de techumbre con nervaduras de espesor de 6 a 10 cm., con varias capas de malla, en que el tamaño máximo puede ser 10 mm. En general, las arenas deben estar constituidas por partículas duras, de forma y tamaño estable, limpio y libre de terrones, partículas blandas, arcillas, sales e impurezas orgánicas, u otras sustancias que por su origen o cantidad afecten la resistencia a la durabilidad del mortero.

4.2. GRANULOMETRÍA

La norma NCh 163 of. 79 “calidad y composición granulométrica de los agregados pétreos para hormigones”, define de la siguiente forma el árido fino: *“Material compuesto de arena natural, arena proveniente de la trituración de rocas, grava u otro materiales con características similares, que pasan totalmente por el tamiz de abertura nominal 4.76 mm (ASTM 4)”*

Los requisitos granulométricos de la arena para hormigón, según la norma NCh 163 of. 79, se establecen en la siguiente tabla:

TABLA N°3

Granulometría arena

TAMICES EMPLEADOS (ASTM)	% QUE PASA EN PESO
3/8"	100
N°4	95-100
N°8	80-100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	10-30
N°100	2-10

Especial importancia reviste el contenido de finos bajo la malla #50, para efecto de la terminación de los elementos. Es recomendable que como mínimo esté sobre el 10%.

En la construcción de elementos de ferrocemento, la graduación de la arena deberá ser tal, que un mortero producido en las proporciones especificadas y con una distribución uniforme de los áridos, tendrá una alta densidad y además

muy buena trabajabilidad, de modo que el mortero pueda penetrar en el sistema de refuerzo, sin segregarse y sin utilizar un alto contenido de agua en la mezcla.

El tamaño máximo de la arena está definido de modo que el 100% de ella deberá pasar la malla ASTM N°8 (NCh 2,5 mm). La siguiente tabla muestra una guía de las graduaciones más recomendadas para la arena que se utilice en la construcción de elementos de ferrocemento.

TABLA N°4

TAMICES EMPLEADOS (ASTM)	% QUE PASA EN PESO
N°8	100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	10-30
N°100	2-10

4.3. OTROS REQUISITOS

Cuando los áridos son conocidos sólo se les somete a los ensayos rutinarios: granulometría, material fino menor que 0.080 mm, absorción e impurezas orgánicas, densidad aparente, densidad real y porcentajes de huecos.

Sin embargo, la norma NCh 163 of. 79 exige también el cumplimiento de otros requisitos, los cuales se deberán atender en el caso del ferrocemento. Gran parte de la información que se posee toma como referencia las normas ASTM, las cuales tienen gran similitud en lo referente a los áridos con las normas chilenas; por lo tanto, la siguiente tabla de requisitos para la arena se refiere a la NCh 163 of. 79.

TABLA N° 5

Requisitos Generales NCh 163 of.79

Requisitos	Valores límites		Norma Ensayo NCh
	Grava	Arena	
1) Material fino menor que 0,080 mm () [*] a) para hormigón sometido a desgaste % máx. b) para todo otro hormigón % máx.	0.5 1.0	3.0 5.0	1223
2) Impurezas orgánicas referidas a color límite según patrón.() [*]	—	amarillo claro	166
3) Granulometría	() [*]	() [*]	165
4) Partículas desmenuzables % máx.	5.0	3.0	1327
5) Partículas blandas % máx.	5.0	—	—
6) Cloruros (Kg/m ³ de hormigón) () [*] a) para hormigón armado, máximo b) para hormigón pretensado máximo	1.20 0.25	— —	1444
7) Sulfatos y sulfuros (Kg/m ³ de hormigón) () [*] a) sulfatos solubles en agua, máximo b) sulfuros oxidables, máximo		0.60 1.80	1444
8) Carbón y lignito: a) para hormigón a la vista % máx. b) para todo otro hormigón % máx.	0.5 1	0.5 1	—
9) Resistencia a la desintegración: () [*] a) con sulfato de sodio % máx. b) con sulfato de magnesio % máx.	12 18	10 15	1328
10) Resistencia al desgaste. Máquina de Los Ángeles: a) para hormigón sometido a desgaste % máx. b) para todo otro hormigón % máx.	40 50	— —	1369 —
11) Absorción de agua (porosidad) %máx. () [*]	2	3	1117 - 1239
12) Coeficiente volumétrico medio: a) árido de tamaño máx. absoluto mayor que 25 mm - para hormigón simple mínimo - para hormigón armado mínimo b) árido de tamaño máx. absoluto menor que 25 mm - para hormigón simple mínimo - para hormigón armado mínimo	0.15 0.20 0.12 0.15	— — — —	—

()^{*}: Referirse a la norma NCh 163 of.79.

4.4. ALMACENAMIENTO

Un buen acopio de los áridos debe evitar la segregación, la contaminación y la fragmentación. Para prevenirlas se recomienda:

- ◆ Los acopios deben situarse lo más cerca posible de la betonera, para evitar el transporte excesivo.
- ◆ El suelo debe encontrarse libre de vegetales o arcillas, sustituyéndolas por una capa de material por acopiar, apisonada. Es mejor aún hacer un emplantillado de hormigón pobre de 10 cm. de espesor. El piso del acopio deberá tener una ligera pendiente para permitir el drenaje.
- ◆ Áridos de distinto origen, o diferentes tamaños deben acopiarse claramente separados.
- ◆ Evitar montones de forma cónica, porque en ellos se produce segregación; deben formarse en capas horizontales con taludes 3:1 horizontal-vertical.
- ◆ El acopiar arena seca debe protegerse del viento, para evitar segregación. Es muy conveniente humedecerla.
- ◆ Se debe evitar el traslado de áridos; el excesivo movimiento produce fragmentación de gramos y aumento de finos. Si es necesario hacerlo, hay que procurar no arrastrarlos.
- ◆ Evitar la circulación de vehículos sobre acopios; éstos pueden contaminar los áridos con arcilla, aceite o grasa, como también producir fragmentación.
- ◆ Regar continuamente los caminos próximos a los acopios para evitar que se levante polvo (arcilla) que se depositaría sobre los áridos, contaminándolos.
- ◆ No lavar superficialmente los acopios, porque las capas inferiores resultarían fuertemente contaminadas por la concentración de finos procedentes de las capas superiores.
- ◆ No dejar caer libremente los áridos desde mucha altura porque segregarán, además, podrían fragmentarse.

5. AGUA

Primeramente el agua debe ser potable o cumplir con los requerimientos indicados en la norma NCh 1498 of.82. Su rol como componente del mortero, consiste en dar lugar a las reacciones con el cemento, para formar un material resistente y dar al mortero fresco la plasticidad suficiente para ser colocado.

La norma chilena dice: “*el agua de amasado debe ser limpia, exenta de materias en suspensión o en disolución, que puedan ser dañinas para el hormigón, tales como arcilla coloidal y glúcidos*”. Además, la norma establece que el agua debe cumplir con los siguientes requisitos:

TABLA N°6

Agua de Amasado – Requisitos Químicos

NCh 1498 of.82

Requisitos Químicos Básicos	Unidad	Valores Límites
a) pH ()*	—	6 a 9,2
b) Sólidos en suspensión	mg/l	=2000
c) Sólidos disueltos ()*	mg/l	=15000
d) Materias orgánicas (como oxígeno consumido)	mg/l	=5
Requisitos Químicos Complementarios	Unidad	Valores Límites
a) Cloruros ()*		
] en hormigón armado	KgCl/m3 hormig.	1,200
] en hormigón tensado	KgCl/m3 hormig.	0,250
b) Sulfatos solubles en agua ()*		
] en todo hormigón	KgSO/m3 hormig	0,600

()*: Referirse a norma NCh 1498 of.82.

Si los sólidos disueltos sobrepasan los 5000 mg/l deberá analizarse, además, el contenido de cloruros y sulfatos solubles, para verificar que no excedan los límites máximos permisibles (norma NCh 163 of.79).

En general, se pueden aceptar, para el amasado del hormigón, todas las aguas catalogadas como aceptables por la práctica, es decir, aquellas aguas que han sido empleadas en obras similares sin que se hayan producido eflorescencias ni perturbaciones en el proceso de fraguado y endurecimiento de los hormigones con ella fabricados.

Normalmente, toda el agua potable es apta, pero en algunos casos no sucede así; por ejemplo, en aguas con azúcar o cítricos. Por otra parte, un agua no potable puede aceptarse. El color y el olor no son causa suficiente para rechazarla.

Para evitar los largos y costosos métodos analíticos de ensayos, conviene, cuando un agua es sospechosa, hacerla reaccionar con cemento: tiempo de fraguado y resistencia del mortero a los 7 y 28 días.

El agua será aceptable, cuando las resistencias obtenidas, no sean inferiores al 90% de la obtenida empleando agua destilada o un agua irreprochable. Sin embargo, estos ensayos no son concluyentes en algunos casos, especialmente cuando el agua contiene cloruros y sustancias expansivas capaces de producir bajas de resistencias diferidas o expansiones a largo plazo.

Finalmente, hay que agregar que deben rechazarse las aguas en la que se aprecie la presencia de hidratos de carbono y las que contengan aceites o grasas de cualquier origen, en cantidad igual o superior a 15 gramos por litro.

La norma chilena, al rechazar las aguas con más de 1% de cloruro de sodio, excluye el empleo de agua de mar en hormigones.

6. ADITIVOS

Agregándose a los numerosos aditivos comúnmente utilizados en hormigón armado, el cual es ocupado también en el ferrocemento, éste requiere de aditivos químicos para reducir la reacción, que se produce entre la capa de zinc de recubrimiento y los alambres o varillas no galvanizadas (varilla de refuerzo o alambre de amarra, ambos de acero sin galvanizar).

Los aditivos son sustancias que pueden agregarse a los morteros y hormigones, con el fin de modificar alguna de sus propiedades o para conferirle otras características, como por ejemplo: aumentar su docilidad, reducir el agua de amasado, incorporar aire, modificar el tiempo de fraguado, etc.

Si bien los aditivos son un componente eventual del hormigón, existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables.

Aunque parezca obvio, el uso de aditivos estará condicionado por:

- ◆ Que se obtenga el resultado deseado, sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- ◆ Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del hormigón.
- ◆ Que un análisis de costo justifique su empleo.

La tabla N°7, señala los principales aditivos para hormigones, su dosis, las propiedades que le confieren, las aplicaciones recomendadas y las limitaciones de su empleo. En todo caso, siempre deben respetarse las indicaciones de los fabricantes de aditivos.

Existen diversos aditivos para lograr diferentes finalidades a la vez. Algunos actúan como plastificantes-incorporadores de aire y plastificantes-retardadores. Hay retardadores superficiales de fraguado, que se emplean en juntas de hormigonado, para mejorar la adherencia, pigmentos que se usan para conferir coloración al hormigón, anticongelantes, etc.

TABLA N°7

Tipos de aditivos

Aditivo y dosis usual	Propiedades	Aplicaciones recomendadas	Limitaciones
a) Incorporadores de aire * 0,03% a 0,05% del peso del cemento	Incorpora microporos al hormigón, produciendo: ♦ Resistencia al hielo y deshielo. ♦ Mayor docilidad. ♦ Menor permeabilidad. ♦ Eventual menor exudación.	♦ Protección al hielo-deshielo. ♦ Pavimetos. ♦ Protección contra agentes químicos.	♦ Menor resistencia mecánica.
b) Plastificantes o reductores de agua * 0,1% a 0,4% del peso del cemento	Mejoran la lubricación entre partículas, obteniéndose: ♦ Mayor docilidad con agua constante. ♦ Menor cantidad de agua para docilidad constante. ♦ Mayor facilidad de colocación y compactación.	♦ Hormigones bombeados y premezclados. ♦ Hormigonado de element. estrechos o prefabricados. ♦ Hormigones de alta resistencia.	
c) Fluidificantes * Para aumentar docilidad 0,5% a 1% del peso del cemento. * Para reducir agua 1% a 3% del peso del cemento.	Aumentan fuertemente la docilidad permitiendo: ♦ Reducir el agua de amasado para docilidad constante, con alto incremento de resistencia.	♦ Hormigonado de piezas estrechas difícilmente acc. ♦ Hormigones bombeados. ♦ Hormigonado en tiempo caluroso. ♦ Hormigones de alta resistencia. ♦ Hormigones para prefabricados. ♦ Reparaciones	♦ Su efecto dura un plazo breve.
d) Aceleradores de fraguado * Hormigón no armado 1:2 a 15 (aditivo:agua). * Hormigón armado máx. 1:6 (aditivo:agua).	Aumentan la resistencias iniciales.	♦ Hormigonado en tiempo frío. ♦ Hormigonado proyectado. ♦ Hormigones para prefabricados. ♦ Reducción del plazo de desmolde ♦ Reparaciones.	♦ Usualmente contienen productos corrosivos, por lo que en hormigón armado hay que tomar ciertas precauciones

7. ARMADURA PARA FERROCEMENTO

7.1. GENERALIDADES

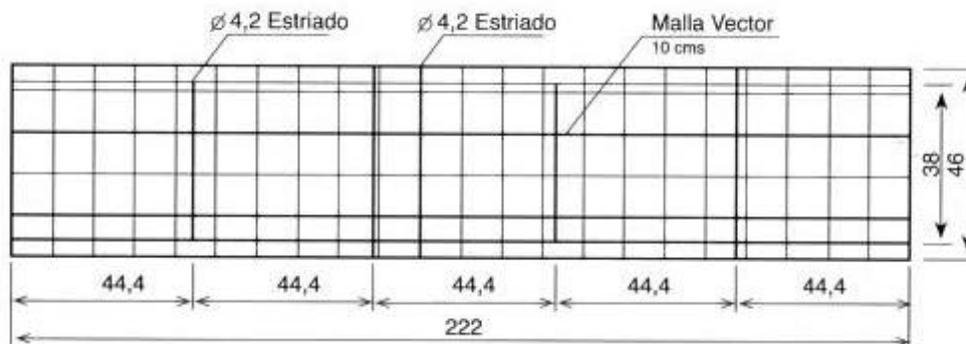
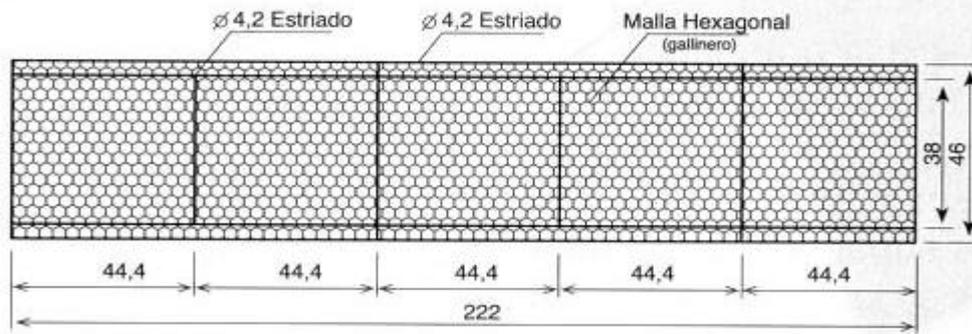
El refuerzo en el ferrocemento consiste comúnmente en capas de mallas continuas. Estas mallas se fabrican ensamblando filamentos o hebras de alambre continuas.

Las armaduras utilizadas en este sistema constructivo, se componen en:

- ◆ **Armadura difusa:** Constituida por alambres de pequeños diámetros, formando mallas con espaciamiento pequeño, las cuales se distribuyen uniformemente dentro del mortero. Las más comunes de las mallas, son la malla gallinero hexagonal con abertura de una pulgada o algunas mallas electrosoldadas.

- ◆ **Armadura discreta:** Sirve de esqueleto, formada por barras de acero de pequeño diámetro sobre las cuales se sujeta la armadura difusa. También sirve de armadura suplementaria para contribuir a la resistencia, Fe Ø 4, 6, 8 y 12 mm.

A continuación se muestra una Malla Acma, de acero A 56 con varas de 4,2 mm, dispuesta en forma discreta y una malla Acma a 250 m/m de abertura con armadura difusa. Se indican diferentes soluciones que pueden ser usadas:



7.2. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

7.2.1. ARMADURA DIFUSA

A. Malla de alambre de tejido hexagonal (de gallinero)

Este tipo de mallas es uno de los más usados y de mayor disponibilidad comercial en el mercado. Esta malla tiene un entretejido que posee una junta entrelazada entre cada alambre individual. Usualmente está confeccionada con alambres de baja resistencia (para facilitar su manufactura) y, en teoría, tiene una resistencia menos efectiva que la malla soldada.

Una de las virtudes más notables del entretejido hexagonal, es que puede doblarse fácilmente, y en algunos tipos de moldes se adecúa perfectamente. Otra

cualidad es que puede ser unido o cocido a capas adyacentes de entretejido. El borde extremo de cada ancho de malla tiene dos alambres longitudinales que ayudan a eliminar terminaciones sueltas y facilitan la unión simple de los bordes.

B. Malla de alambre de tejido cuadrado

La malla tejida o entrelazada consiste básicamente, en un ensamble o entrelazado de alambres perpendiculares, formando perímetros cuadrados entre ellos, y sus intersecciones no están rígidamente contactadas.

La malla tejida simple y cuadrada se consideró, en un principio, inadecuada para la construcción de elementos en ferrocemento, ya que, sus alambres no estaban rectos. Sin embargo, las pruebas indican que esta malla es tan buena o mejor, que la malla soldada o la hexagonal. Una de las dificultades encontradas en su uso es que es muy elástica y es difícil de mantener en posición, a pesar de que toma la forma de curvas compuestas, cuando es estirada.

C. Malla electrosoldada de tejido cuadrado o rectangular

En la cual un contorno rectangular es formado por alambres perpendiculares que se intersectan y cuya intersección se encuentra soldada. Desafortunadamente, las mallas soldadas tienen sus desventajas; éstas incluyen la posibilidad de puntos débiles en las intersecciones y también una moldeabilidad insuficiente. Los puntos débiles son producto de una soldadura inadecuada, durante la manufactura de la malla. Estas diferencias pueden ocasionar serias

limitaciones aún cuando se usa un alambre de acero de alta resistencia a la tensión.

La malla soldada carece de moldeabilidad, por lo tanto, es incapaz de tomar las curvaturas que pueda poseer una superficie (ejemplo: casco de un barco); sólo será útil para superficies planas, sin curvaturas.

D. Malla de metal desplegado

La malla de metal desplegado, (de uso restringido no es recomendable en estructuras con solicitaciones bidireccionales) **y** está formada por láminas delgadas de metal que son caladas en una dirección y después extendidas en sentido perpendicular a los cortes realizados.

Esta malla tiene amplia utilización, actualmente, para dar sujeción a estucos. El ferrocemento ha tenido gran aplicación en panales de grandes dimensiones, pero éstos sin curvaturas, sólo en formas planas.

7.2.2. ARMADURA DISCRETA

Se distinguen dos tipos:

A. Armadura de esqueleto

Está constituida por barras de acero de diámetro entre 4 mm y 12 mm; van soldadas o amarradas entre sí, para luego sostener las mallas de alambre. Su uso está normalmente limitado a aplicaciones artesanales, sin uso de moldaje.

B. Armadura suplementaria

Las armaduras suplementarias tienen función estructural, actuando en conjunto con las mallas de alambre o alambrán. Está constituido por barras de acero, normalmente utilizadas en obras civiles.

CAPÍTULO III

ENSAYOS REALIZADOS Y ASPECTOS DEL DISEÑO

1. GENERALIDADES

Los datos de ensayos aquí mostrados, están basados en las últimas investigaciones efectuadas por la Universidad del Bío Bío en Concepción.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL

2.1. CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS MECÁNICOS

2.1.1. RESISTENCIAS A CONTROLAR

Los tipos de ensayos a los que fueron sometidos los paneles y losetas para determinar parámetros de Resistencia Mecánica, son los siguientes:

- ◆ Resistencia a la compresión vertical en paneles de muro
- ◆ Resistencia a la flexión en paneles muro
- ◆ Resistencia al impacto en paneles muro
- ◆ Resistencia al punzonamiento en paneles de losa
- ◆ Resistencia a la adherencia en paneles muro
- ◆ Resistencia a la flexión en paneles de losa

2.1.2. NORMAS PARA EJECUCIÓN DE ENSAYES

Las normativas que fijan los procedimientos para la ejecución de los ensayos que permiten medir las propiedades mecánicas del material, son las siguientes:

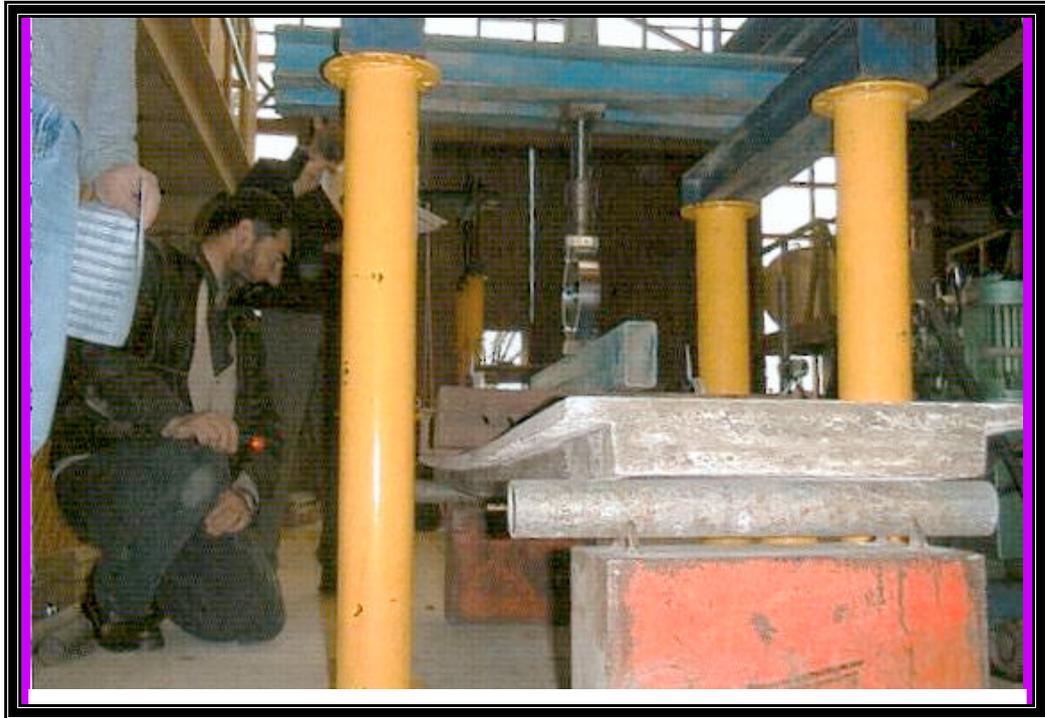
TABLA N°8

N°	ENSAYO	NORMA CHILENA	NORMA DIN
1	Resistencia a la compresión	NCh 801 E Of. 70	DIN 53.421
2	Resistencia a la flexión	NCh 803 E Of. 70	DIN 53.423
3	Resistencia al impacto	NCh 804 E Of. 70	
4	Resistencia al punzonamiento	NCh 805 E Of. 70	
5	Resistencia a la adherencia		
6	Resistencia a la flexión como losa	NCh 803 E Of. 70	DIN 53.423



Ensayo compresión vertical panel

Fig.N°11



Ensayo flexión panel

Fig. N°12



Ensayo flexión losa

Fig. N°13

2.1.3. RESISTENCIAS OBTENIDAS

En el siguiente cuadro se dan a conocer las propiedades mecánicas estructurales obtenidas, que sirven de parámetros mínimos para los elementos:

TABLA N°9

ENSAYO	NORMAS		NORMA DIN
	NCh	DIN	
Resistencia a la compresión	801 E of 70	53.421	- Tipo VI clase A - Grado 3 con carga de rotura superior a 8000 kg/ml límite de proporcionalidad = a 4000 Kg/ml
Resistencia a la flexión	803 E of 70	53.423	- Carga rotura 500 kg/ml - Grado AT1 con rango entre 500 kg/ml y un límite de proporcionalidad mayor a 250 kg/ml
Resistencia al impacto	804 E of 70		- Mayor a 250 Joules
Resistencia al punzonamiento	805 E of 70		- H30 es de 18 kg/cm ²
Resistencia a la adherencia			- Mínimo 2 kg/cm ²
Resistencia a la flexión como losa	803 E of 70	53.423	- Para un panel de 0.55 x 2.25 mt con nervios mayores a 9 ton. De carga axial, sin deformación.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS NO MECÁNICOS

En el cuadro adjunto se dan a conocer las propiedades no estructurales obtenidas en los laboratorios de materiales de la Universidad del Bio Bio e IDIEM Santiago, que sirven de parámetros de contrastación para los elementos a desarrollar del sistema constructivo.

TABLA N°10

PROPIEDADES	ELEMENTOS	NORMA	RESULTADO	CERTIFICACIÓN
Densidad	Lámina 25 m/m		2337 kg/m ³	U.B.B. N° 00257
Conductividad Térmica	Lámina 25 m/m	NCh 850 Of. 70	0.32 (W/m ² =X)	U.B.B. N° 00258
Transmitancia	Panel doble cámara	NCh 851 Of. 70	0.85 (W/m ² =X)	U.B.B. N° 00259

Térmica	de aire c/aislación poliestireno exp.			
Resistencia Acústica	Panel doble cámara de aire c/aislación	ASTM E 413-73	39 dB (A)	IDIEM N° 215384
Resistencia al Fuego	Panel doble cámara de aire c/aislación	NCh 435 Of. 84	F-60 (75 min.)	IDIEM N° 215384
Resistencia al Fuego	En losa y sobrelosa	NCh 435 Of. 84	F-90 (96 min.)	IDIEM N° 215389
Factor "G"	Vivienda	Norma U. B. B.	2.34 ($W/m^2 \Rightarrow X$)	U.B.B. N° 00260
Permeabilidad Al agua	Paneles	UNE 85-206	No se observa manchas de agua (1)	U.B.B. N° 040/2002

(1)

DIFERENCIA DE PRESIÓN ENTRE EL CAJÓN Y EL EXTERIOR Pa	DURACIÓN (min)
0	15
50	5
100	5
150	5
200	5
300	5
400	5
500	5
600	5
700	5

3. MONITOREO TÉRMICO DE LA VIVIENDA

3.1. ANTECEDENTES

Se dan a conocer los resultados del monitoreo térmico a que fue sometida una vivienda prototipo de ferrocemento, ubicada en el área de experimentación de la Universidad del Bío-Bío en su Campus de la ciudad de Concepción.

El propósito del monitoreo de la vivienda es el de evaluar, mediante un seguimiento instrumentalizado, su comportamiento térmico: aislación térmica, permeabilidad al aire e inercia térmica, parámetros a través de los cuales se puede inferir respecto a su grado de habitabilidad.

3.2. MÉTODO

3.2.1. Características de la Vivienda

Correspondiente a una unidad aislada, de un piso y 46 m² de superficie construida, emplazada donde se señaló anteriormente, y construida completamente en ferrocemento: fundaciones, muros perimetrales y divisorios, cielo, cubierta y marcos de puertas y ventanas. La solución de piso es en radier de hormigón.

3.2.2. Método de Ensaye

El monitoreo consistente en un seguimiento instrumentalizado que se efectúa a la vivienda deshabitada y sometida a condiciones climáticas naturales, por un periodo determinado de tiempo. El monitoreo de la vivienda de ferrocemento que se señala, se desarrolló entre el 13 de septiembre y el 23 de octubre de 1995.

A través del monitoreo se realizaron básicamente tres tipos de pruebas, con propósitos específicos y metodologías propias. Las pruebas son las siguientes:

- a) Pruebas de consumo energético.

- b) Pruebas de permeabilidad al aire de la vivienda.
- c) Pruebas de capacidad de respuesta térmica de la vivienda.

3.2.3. Pruebas de Consumo Energético

Es para determinar las condiciones técnicas de ahorro energético de la vivienda e inferir respecto a su aislación térmica. Por lo tanto, consiste en determinar la demanda energética de la vivienda bajo diferentes condiciones climáticas y con servicio de calefacción permanente. El esquema experimental contempló un sistema de calefacción eléctrica convencional de estufas infrarrojas con circulación de aire forzado, dispuestas una por recinto, que se programaron horariamente mediante termostatos electrónicos de alta sensibilidad. Incluyó, además, un sistema de adquisición de datos y transductores para medir consumo de potencia, temperaturas del aire tanto interior como exterior, temperaturas de paredes y humedades relativas.

El coeficiente que sintetiza la característica aislante de la vivienda es el Coeficiente Volumétrico de Pérdida Térmica **G ($w/m^3 K$)**. Este coeficiente considera simultáneamente la resistencia térmica de los cerramientos, la situación geográfica y climática y las condiciones de diseño constructivo de la vivienda. Es la expansión global de la aislación térmica de la vivienda como conjunto.

3.2.4. Pruebas de Permeabilidad al Aire

Para determinar las condiciones técnicas de permeabilidad al aire y de hermeticidad de la vivienda, la experiencia se realizó conforme a la Norma ASTM E 779-87, utilizándose además la Norma ANSI/ASHRAE 119-1988, para caracterizar la vivienda y clasificarla de acuerdo a su permeabilidad al aire.

El método consiste en presurizar o despresurizar una vivienda mediante ventilación mecánica y determinar el flujo de aire a través de la envolvente para diferentes niveles de presión diferencial entre el ambiente interior y exterior de la vivienda. El equipo de ensaye consiste en un ventilador centrífugo que se conecta a la puerta de la vivienda y medidores de velocidad del aire, presión diferencial y temperaturas del aire.

La característica permeable de la vivienda se sintetiza a través del coeficiente adimensional L_n , conocido como Coeficiente Normalizado de Infiltración de Aire:

$$L_n = 1000 \frac{L}{A} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{0.3} \quad \text{y};$$

$$L = C (\Delta P)^{(n-0.5)} \left(\frac{d}{2} \right)^{1/2} [m^2]$$

Donde:

L = Área efectiva equivalente de infiltración de la vivienda a un a presión diferencial de 4 Pa, en m^2 .

ΔP = Presión diferencial ambiente interior-exterior de la vivienda en Pa.

d = Densidad del aire, en Kg/m^3

C y n = Coeficiente de flujo. Obtenidos mediante correlaciones y a partir de información experimental.

H = Altura piso-cielo vivienda, en m.

H_0 = Altura de referencia vivienda de un piso, 2.5 m.

A = Área planta superficie vivienda, en m^2 .

3.2.5. Pruebas de Capacidad de Respuesta Térmica de la Vivienda

Para determinar las condiciones técnicas de acumulación de energía y de respuesta frente a la acción de ondas térmicas. La experiencia se realiza evaluando los termogramas de la vivienda deshabitada y sin calefacción, sometida a diversas situaciones climáticas. En la práctica se determina la velocidad de recorrido de una variación de temperatura desde el exterior y el grado en que tal fluctuación es amortiguada.

3.3. INSTRUMENTACIÓN

En la tabla N°11 se resume la información técnica de equipamiento experimental.

Tabla N° 11

Características Instrumentalización Utilizada

PARÁMETRO	INSTRUMENTO
Temperatura	Sistema Adquisición de datos Mac-14 Cole Palmer, Rango 0,3 μ v a 10v. Precisión \pm 0,02% del rango.
Velocidad del Aire	Anemómetro marca KURZ, modelo 491, Rango alto 0-6000 FPM; Rango Bajo 0-6000 FPM.
Potencia Eléctrica	Transductor de potencia "ACMC" modelo 700. 18mv/Kw. Medidor de energía Schumberger modelo Huelén-80
Presurización	Ventilador Airolite, modelo CVR 280, con motor de 2 HP, 3000 RPM. \varnothing Entrada 25 cm. \varnothing Salida 27 cm, con tobera para homogeneizar velocidades. 104 cm largo por 27 cm \varnothing en salida.
Presión Diferencial	Manómetro inclinado marca PK-30 PERFLOW. Rango 0-12,5 mcd, sensibilidad 0,1 mm cda.

3.4. RESULTADOS

3.4.1. Coeficiente Volumétrico de Pérdida Térmica

$$\mathbf{G = 2,34 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Condiciones de Referencia

- ◆ Fecha de Evaluación : 14 y 15 de Septiembre de 1995.
- ◆ Horas : 22:00 del día 14/09/95 hasta 08:00 día 15/09/95
- ◆ Temperatura Ambiente Interior : 20°C constante.
- ◆ Temperatura Ambiente Exterior : 8°C promedio
- ◆ Consumo Calefacción : 20,40 Kw-H
- ◆ Volumen Vivienda : 108,56 m³
- ◆ Emplazamiento Vivienda : Ciudad de Concepción (Chile). Zona de experimentación de la Universidad del Bío-Bío.

El coeficiente volumétrico de Rendimiento Térmico $\mathbf{G= 2,34 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}}$, da cuenta de una edificación de aislación térmica aceptable y consumo moderado de energéticos para calefacción. Ver gráfico N°1 , Pág.54

La tabla N°12, entrega una tipificación de construcciones habitacionales, de acuerdo a su grado de aislación térmica y según el valor de \mathbf{G} , que sirve de referencia.

Tabla N° 12

Tipificación de Construcciones Habitacionales según valor de G

RANGO G (W/m ³ K)	CLASIFICACIÓN
< 1,0	MB Muy Buena
1,0 a 1,8	B Buena
1,8 a 2,7	A Aceptable
2,7 a 3,8	R Regular
> 3,8	M Mala

Fuente: Universidad del Bío-Bío de Concepción. Cuadro desarrollado a partir del análisis experimental de numerosos casos de la Región y el País.

El valor G representa para la vivienda lo mismo que el rendimiento de un vehículo en Km/litro de bencina. A modo de referencia habría que señalar que construcciones comparables en albañilería y hormigón poseen índices G entre 3.0 y 4.5 W/m³ K

3.4.2. Características de Permeabilidad al Aire de la Vivienda

$$L = 0.039 \text{ m}^2$$

Área equivalente de infiltración a 4 Pa.

$$Ln = 0,82$$

Coefficiente Infiltración Normalizada.

Condiciones de Referencia

- ◆ Fecha/hora de Ensaye : 21/10/95, entre 10:00 y 12:00 AM.
- ◆ Vivienda : Casa prototipo de ferrocemento. Proyecto FONTEC.
- ◆ Superficie Vivienda : 46 m².
- ◆ Altura cielo-piso : 2.36 m.

- ◆ Lugar : Área de experimentación de la Universidad del Bío-Bío en su campus de la ciudad de Concepción.
- ◆ Velocidad del aire : = 0.1 m/s promedio aire exterior
- ◆ Temperatura : 10-12°C durante periodo ensaye.

El valor **Ln** obtenido, de acuerdo a ANSI/ASHRAE 119-1988, da cuenta de una vivienda de hermeticidad aceptable. Ver gráfico N°2, Pág.55

En la tabla N° 13 se presenta una clasificación de viviendas según su permeabilidad en grados de A a J dependiendo del coeficiente **Ln**.

TABLA N° 13

Rango Infiltración Normalizada Ln	Clase
Ln < 0,10	A
Ln < 0,14	B
Ln < 0,20	C
Ln < 0,28	D
Ln < 0,40	E
Ln < 0,57	F
Ln < 0,80	G
Ln < 1,13	H
Ln < 1,60	I
Ln	J

Fuente : Norma ANSI/ASHRAE 119-1988 : Air LeaKage Performance for Detached Single-Family Residential Building.

3.4.3. Capacidad de Respuesta Térmica de la Vivienda

Durante días soleados, la temperatura externa del aire medida a la sombra tiende aproximadamente a una onda sensorial de 24 horas, con valores máximos y mínimos. En este caso la vivienda actúa retardando la onda térmica entre 3 y 4

horas y, a la vez, amortigua su amplitud de 4 a 5°C aproximadamente, suavizando el efecto de las marcadas temperaturas externas. Ver gráfico N° 3, Pág. 56

Durante días nubosos, la temperatura del aire exterior tiende a una recta. En este caso, en ausencia de radiación solar directa, la temperatura interna tiende a la externa minimizándose los efectos de retardo y amortiguación. Ver gráfico N°4, Pág. 57

Las características observadas dan cuenta de una vivienda de una alta inercia térmica y poder termoacumulador.

4. CONTROL DE CALIDAD DE FABRICACIÓN

Los paneles de muros exteriores e interiores y las losetas, son ensayados en fábrica a fin de mantener el proceso bajo control.

Como complemento de los ensayos se verifica aleatoriamente el cumplimiento del recubrimiento mínimo de las armaduras y la textura superficial de los elementos prefabricados.

Además, durante la fabricación, se evalúa mediante resistencias mecánicas los morteros y hormigones que corresponden al sistema. Sin embargo, la única forma de mantener las características de los paneles determinados en los ensayos de caracterización del producto, es mediante la implantación de un control sistemático del mortero, midiendo las resistencias a la compresión y flexión del mortero con que se fabrican los paneles. La desviación máxima no

debe ser mayor a 30 kg/cm². Si se cumple regularmente con lo indicado, el control sistemático se distancia.

Estos ensayos de fabricación son ejecutados obligatoriamente para los elementos de cada tipo indicado producidos en fábrica, para una obra específica o en un ciclo productivo continuo de 10.000 elementos. Los certificados obtenidos no pueden tener una validez superior a 60 días.

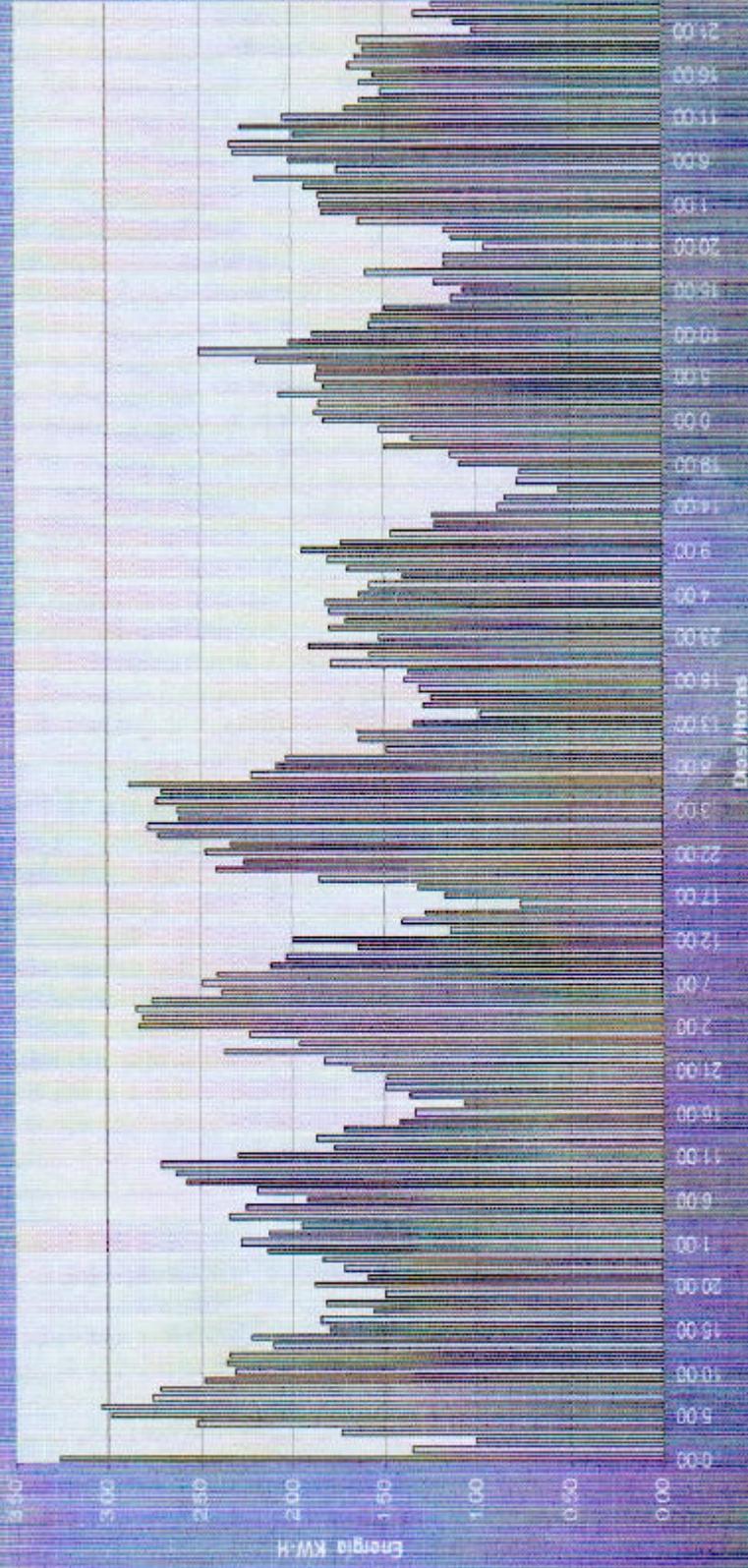
Dentro de los ensayos de caracterización son obligatorios los de:

- ◆ Compresión vertical del panel
- ◆ Flexión del panel
- ◆ Impermeabilidad del panel (infiltración)
- ◆ Los demás ensayos corresponden a características propias del panel y que dan origen al sistema.

GRÁFICO N° 1

VIVIENDA DE FERROCEMENTO

Comportamiento consumo calefacción

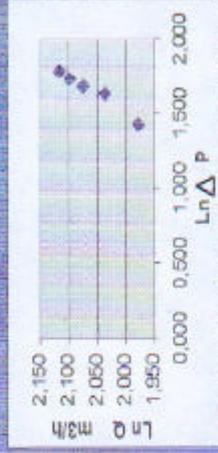
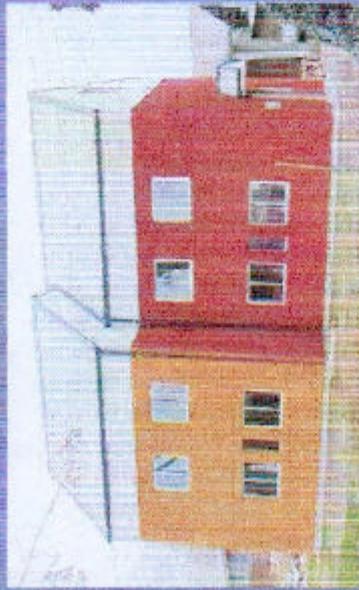


Evolución de la energía consumida (KW-H) en la vivienda experimental, durante el período entre 11 y 17 de julio de 2002

GRÁFICO N° 2

VIVIENDA DE FERROCEMENTO

Ensayo permeabilidad al aire



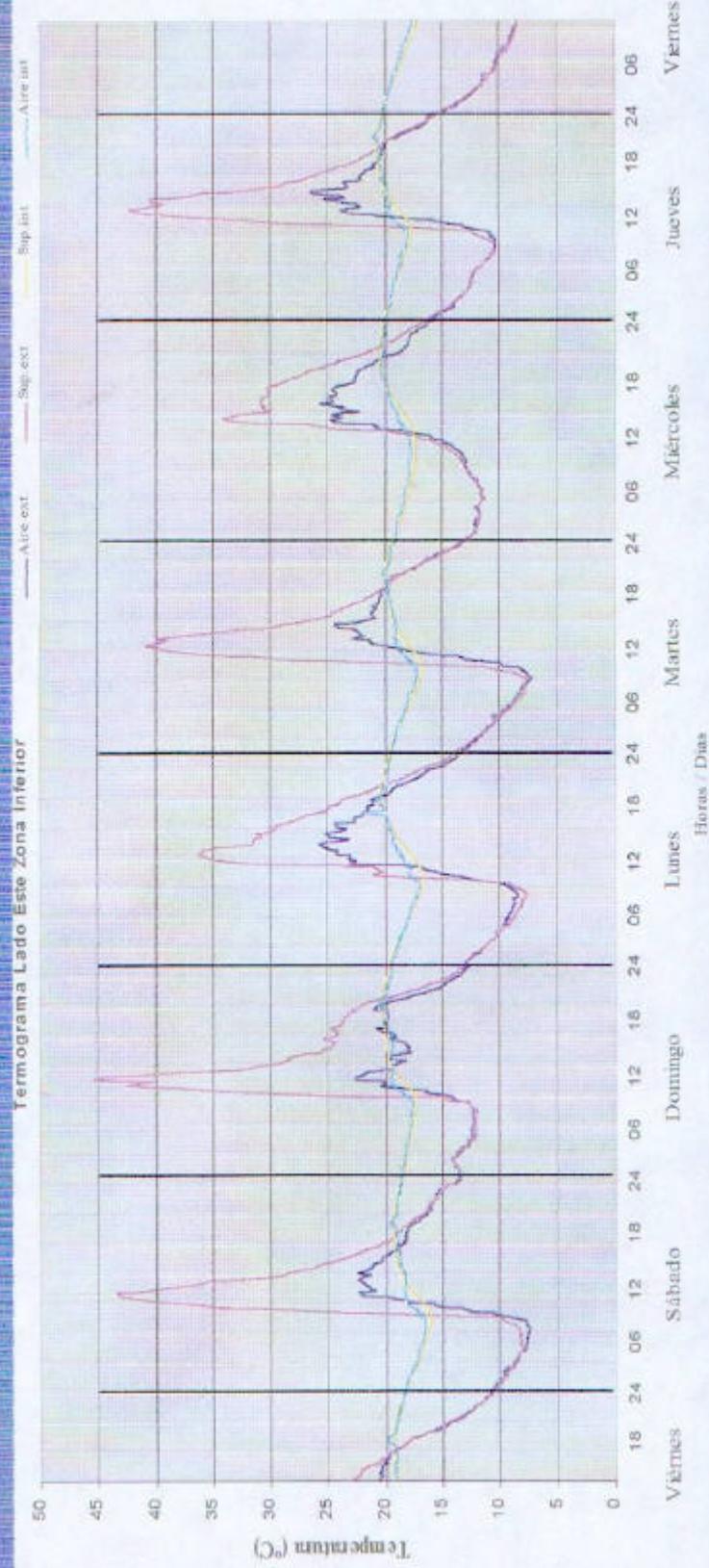
Resultados Experimentales
Q = CAPⁿ

n: Exponente de flujo	0,62
C: Coeficiente de flujo	0,028 m ³ /s
n ₅₀ : Cambios de aire a 50 Pa	7,59
Q ₅₀ : Flujo de aire a 50 Pa	1139 m ³ /h
n ₄ : Cambios de aire a 4 Pa	1,59
Q ₄ : Flujo de aire a 4 Pa	238 m ³ /h
L _{4Pa} : Area infiltración normalizada	258 cm ²
L _n : Coeficiente infiltración	0,55
Clase infiltración s/Ansi Ashrae	F

GRÁFICO N°3

COMPORTAMIENTO SOLAR PASIVO

Vivienda de Ferrocemento

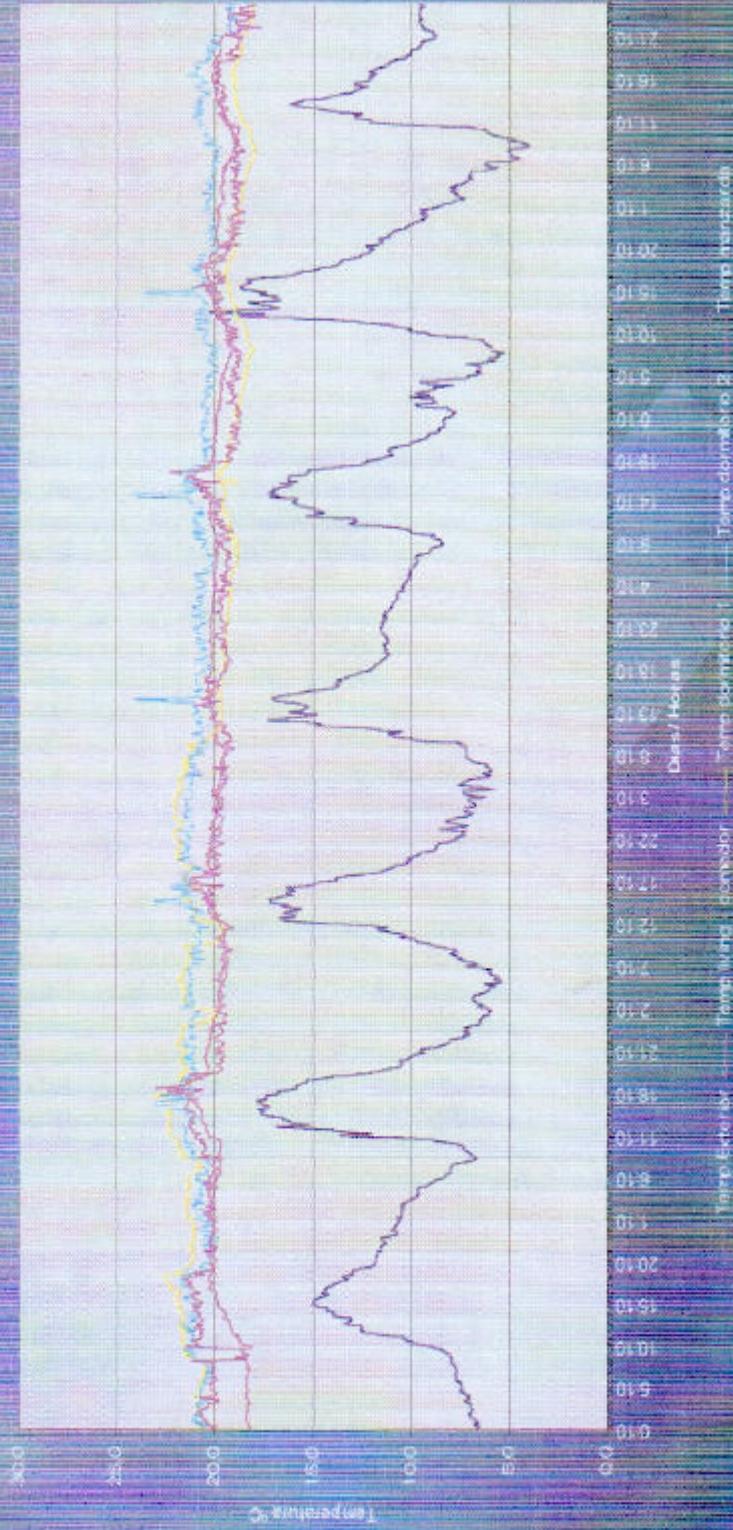


Termograma vivienda experimental de Ferrocemento. Muro Este, primer piso, período entre el 01/03 - 07/03/2002

GRÁFICO N°4

VIVIENDA DE FERROCEMENTO

Comportamiento temperatura en período de calefacción



Termograma vivienda experimental. Variación de temperaturas en los distintos recintos y en exterior. Período entre el 11 y 17 de julio de 2002

5. ASPECTOS DEL DISEÑO

En realidad, no existen normativas generadas especialmente para este material, por lo que los antecedentes específicos para el diseño de elementos de ferrocemento se establecen en cada país, según sus condiciones particulares. Cuando no existe un código de diseño, se puede utilizar el documento “Guide for the design, Construction on repair of Ferrocement” del American Concrete Institute (ACI) y la norma brasileña ABNT 1259 “Projeto e Execucao de Orgamassa Armada”, ambas complementadas por el documento “Building code requirements for reinforced concrete” (ACI 318) del ACI.

Cualquier recomendación de diseño para estructuras de ferrocemento, debe depender del tipo de aplicación y deberían estar basadas en un análisis racional apoyado en resultados de ensayos.

En vista de los conocimientos actuales del ferrocemento, las pautas dadas a continuación, para ferrocemento hecho con mortero simple y malla de alambre, deben llevar a un rendimiento satisfactorio en aplicaciones normales. Estas pautas se han derivado del análisis de numerosos datos de ensayos, de recomendaciones hechas por constructores con experiencia en el tema, y de algunas especificaciones usadas para la fabricación de botes de ferrocemento.

Una característica importante del ferrocemento, es el desarrollo de grietas finas bajo carga; esto hace posible construir estructuras seguras en secciones delgadas. El ferrocemento, acepta un agrietamiento fino que es característico en él, a diferencia del hormigón armado que desarrolla grietas más abiertas para un mismo esfuerzo.

El hormigón armado se diseña para resistir los esfuerzos a flexión y para proteger de la corrosión al acero de refuerzo; pero cada una de estas restricciones tiene también que resolverse para el caso del ferrocemento, junto con otros dos importantes criterios: la factibilidad económica y la capacidad de construir las secciones según la diseñaron.

En términos generales se destaca su alta capacidad a la resistencia axial, alta resistencia a la compresión, alta flexibilidad y la alta resistencia al impacto.

Se hace hincapié en uno de los aspectos importantes del ferrocemento; esto es la cantidad de acero que debe disponerse en términos de volumen y de superficie, de acuerdo a lo siguiente:

- ◆ Fracción de volumen de refuerzo correspondiente a la razón entre el volumen total de refuerzo y el volumen total de la mezcla.
- ◆ Superficie específica, correspondiente a la relación entre el área total de refuerzo y el área de la sección transversal.

En la determinación de las solicitaciones se pueden emplear las normas oficiales siguientes:

- ◆ NCh 431 of.77 “Diseño sísmico de Edificios”.
- ◆ NCh 432 of.71 “Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones”.
- ◆ NCh 433 of.72 “Construcción-sobrecarga de nieve”.

- ◆ NCh 1537 “Diseño Estructural de Edificios-cargas permanentes y sobrecargas de uso”.

Puede utilizarse el método de diseño elástico o el método de diseño de rotura. En el caso del diseño en hormigón armado, la tendencia está orientada al diseño a la rotura, básicamente establecido en el código ACI 318, que se podría extender al diseño del ferrocemento.

De esta forma, y de acuerdo a la variedad de ensayos a que fue sometido el ferrocemento, se logró establecer que las dimensiones mínimas que podrían tener los paneles (placa) es de 0.5m de ancho por 2.25 m de alto y un espesor de 3 cm. cuya funcionalidad es el de parearse con otro de similar geometría, conformando así un muro perimetral y estructura resistente de una vivienda.

Otros aspectos del diseño que es importante destacar en la confección del ferrocemento es lo siguiente:

a. Recubrimiento de refuerzo:

- Ambiente no agresivo > 4 mm
- Ambiente medianamente agresivo > 6 mm
- Ambiente agresivo Protección especial

b. Tolerancias:

- Recubrimiento 2 mm
- Espesor de muros 10% del espesor, < 3 mm
- Dimensión mayor
- < 5m 10 mm

-	> 5 m y < 15m	15 mm
-	> 15m	20 mm
c.	<u>Desviación lineal</u>	L/1000
d.	<u>Refuerzo mínimo (mallas):</u>	
•	Espesor de muro < 20 mm	1 malla
•	Espesor de muro > 20 mm	2 mallas
•	Cuantía de acero	0,3% en cada dirección
•	Diámetro (alambre de malla)	> 0,56 mm y < 3 mm
•	Espesor (metal desplegado)	> 0,3 mm y < 16 mm
•	Mayor espacio de malla	
-	Electrosoldada	50 mm
-	Tejida	25 mm
-	Expandida	38 mm

Casos especiales según cálculo estructural:

a.	<u>Refuerzo mínimo (barras):</u>	
•	Diámetro	< $\frac{1}{4}$ del espesor y < 12 mm
•	Espaciamiento	> 3, > 10 mm
•	Consideración constructiva	> 3 mm (en esquinas y dobleces)
b.	<u>Adherencia y anclaje (malla de acero):</u>	
•	En el borde de apoyos libres en flexión	
-	Largo del soporte	> 3 veces el espesor, >40mm
-	Largo de la malla	>20(electrosold.), >30(tejida)

c. Traslapos

- Malla soldada > 3 espacios de malla, largo > 60 mm
- Malla tejida o metal desplegado >4 espacios de malla, largo > 100 mm

Además en el caso de elementos laminares se pueden clasificar desde un punto de vista estructural en lo siguiente:

a. Según el número de mallas:

◆ Grado 1

Sin capas de mallas: esta situación no se reconoce como ferrocemento.

◆ Grado 2

Una capa de mallas: usado en elementos secundarios.

◆ Grado 3

Dos y tres capas de malla: usado en elementos normales de edificación.

◆ Grado 4

Cuatro a seis capas de malla: usado en elementos retenedores de agua.

◆ Grado 5

Siete o más capas de malla: usadas en zonas de alta concentración de esfuerzos.

b. Según el diámetro del acero discreto:

◆	Grado A	Acero de 3 a 6 mm
◆	Grado B	Acero de 7 a 12 mm
◆	Grado C	Acero de 13 a 20 mm

CAPÍTULO IV

FABRICACIÓN DE PARTES Y COMPONENTES DEL SISTEMA

1. GENERALIDADES

Lo siguiente tiene relación con la ejecución de partes y piezas, componentes del sistema constructivo del Proyecto Vivienda Social en tres niveles, en base al sistema constructivo doble panel doble cámara de aire en ferrocemento, como así también, la descripción del proceso constructivo, montaje y construcción en general del sistema propuesto. Su desarrollo es técnico-descriptivo.

Para resguardar la calidad y eficiencia del sistema se establecieron los mecanismos de control de calidad necesarios, tanto en la elaboración de partes y piezas como en el proceso de montaje y construcción de las viviendas. Los métodos y procesos constructivos empleados en el sistema respetaron y cumplieron con las normas correspondientes.

Las dimensiones de los paneles son las indicadas en el Anexo A; las indicaciones referentes a las armaduras son las dadas en el Anexo B. Por variaciones de proyecto, son aceptables variación de dimensiones en ambos sentidos de 5 cm. en el ancho y 10 cm. en el alto.

Por consiguiente, los elementos que constituyen y dan forma al ferrocemento se elaboraron con los materiales y procedimientos tradicionales para obras de edificación en hormigón. Cabe hacer mención, que los moldajes se diseñan para ser contruidos en madera contrachapada, porque se estimó que ésta presentaba las condiciones de calidad requerida, como también la flexibilidad para permitir una rápida modificación a fin de adaptarla a las condiciones reales de fabricación y modificaciones en su diseño o geometría que pudieran presentarse.

2. MATERIALES

2.1. PARA EL MORTERO

Para la ejecución de paneles de ferrocemento el material base está constituido por un mortero que debe cumplir con una dosificación mínima de cemento de 410 Kg.cem/m³ (ver tabla N° 14)

Esta especificación permite cumplir adecuadamente el requisito de resistencia a la compresión de 200 Kg/cm² a los 28 días. La dosificación mínima de cemento establecida es para asegurar el grado de impermeabilidad de los paneles. Con dosificaciones menores a la establecida no es posible garantizar dicha impermeabilidad; sin embargo, el no cumplimiento de esta especificación implicará la ejecución de nuevos ensayos para garantizar la calidad del producto.

Las arenas deben ser de tamaño máximo 5 mm, y que cumplan el requisito granulométrico establecido en la NCh 163 para la arena media o normal, con módulos de finura entre 2,4 y 3,3 (Capítulo II). Se debe asegurar que la

cantidad de finos (cemento y arena) que pasen por el tamiz 0.315 mm sea mayor que 500 Kg.cem/m³, siempre que no se exceda el contenido máximo de material fino menor que 0.08 mm en los áridos; permitiendo con ello una adecuada docilidad o fluidez y una capacidad resistente satisfactoria para la mezcla de mortero, asegurando con ello una adecuada resistencia a la tracción por flexión, compresión, al impacto, a la permeabilidad y durabilidad del material.

Adicionalmente, se puede usar aditivo Sikament NF o similar (superfluidificante) utilizándose en la etapa inicial del proceso de producción de partes, con el objetivo de reducir la razón agua/cemento y obtener un mortero autonivelante, lo que facilita su colocación y compactación con un mínimo vibrado.

Dependiendo del tipo de elemento y función que cumple en el sistema, se diseñan mezclas de mortero con dosis variables de cemento y consistencias adecuadas al método de colocación y compactación.

Los requisitos establecidos para los morteros que sirvieron de base para la elaboración de los componentes prefabricados y los elementos que fueron los construidos en obra, son los siguientes:

TABLA N° 14

	R especificada	Consistencia	Dosis Mínima
A) Mortero Estructural	200 Kg/cm ²	Plástica	410 Kg.cem/m ³
B) Mortero Impermeable	200 Kg/cm ²	Plástica	600 Kg.cem/m ³
C) Mortero Relleno	200 Kg/cm ²	Plástica	410 Kg.cem/m ³

2.2. PARA EL HORMIGÓN

Como alternativa sólo en la solución de pilares, sobre losas y cadenas, se puede usar hormigón fino grado H-20 con tamaño máximo de gravilla 3/8".

2.3. PARA LA ARMADURA

Los diversos tipos de acero utilizados se establecen por diseño tomando en consideración la función, tipo de sollicitación y comportamiento estructural a que estarían expuestos en cada componente, como en el conjunto vivienda.

De esta forma se clasifican dos tipos de armadura:

- A. **Armadura discreta**: Constituida por una malla electrosoldada o amarrada con alambre negro N°18 en sus cruces, es del tipo AT 56-50 o similar, en algunos casos especiales cuando los paneles estén afectados por impactos irá amarrada con alambre negro N°18 una malla de alambre galvanizado con tejido hexagonal de $\frac{3}{4}$ " de abertura y un diámetro de 0.67 mm.
- B. **Armadura difusa** : Compuesta por barras de acero de construcción AT 56-50 distribuidas en el perímetro de las placas y nervios de los paneles de muro. Esta armadura va conectada con la armadura discreta.



Armadura placa

Fig. N° 14

2.4. PARA EL MOLDAJE

Se puede confeccionar en madera terciada moldaje de 18 mm de espesor o en planchas de acero negro de 2,5 mm mínimo (para paneles de muro) y 8 mm para losetas, lo que permite mantener las dimensiones y geometría de los elementos.

La disposición de las diferentes partes del moldaje, se diseñan tomando en consideración: la disposición de las armaduras, el procedimiento de vaciado, compactación y acabado del mortero, como así mismo, la facilidad de descimbre y reutilización de las piezas.

Estos moldajes pueden ser de dos formas, uno que permita la obtención de la cara vista o cara exterior del panel hacia arriba permitiendo de este modo dar la terminación superficial deseada al panel mediante procedimientos

manuales o mecánicos y el otro tipo de moldaje que permita la cara vista o exterior del panel quede en contacto con el molde.

Para prevenir y evitar la adherencia del mortero se usa un desmoldante tipo Sikaform metal en todas las caras expuestas a la mezcla. Su aplicación es a brocha o rodillo dejando una delgada y uniforme película sobre la superficie del molde. Los excesos de desmoldantes impiden la eliminación de partículas de aire atrapadas en la superficie del mortero en contacto con el molde.

El sistema de fijación de cada una de las piezas se lleva a cabo mediante clavos de 1" y 1 ½" y puntillas.

Cada vez que se reutiliza el molde debe verificarse su geometría, estanqueidad y sistemas de fijación, como así mismo, su perfecta limpieza.

2.5. ADITIVOS

En general, no se requiere del uso de aditivos; sin embargo, si se desea una mayor seguridad de estanqueidad al paso del agua de lluvia se puede utilizar un hidrófugo de masa (tipo Sikament FF-86) en la confección del mortero para paneles de muro exterior. Así mismo, de requerirse trabajar con mezclas secas se adiciona un fluidificante para obtener la docilidad deseada, facilitando la colocación, compactación y terminación del mortero. Se logra con ello, bajar la relación A/C de la mezcla, lo que permite mayor velocidad de desmolde y resistencias a temprana edad. La dosis de aditivo, serán aquellas expresamente recomendadas por el fabricante.

2.6. ADICIONES

Se puede incluir en las mezclas de mortero, tales como: cenizas volantes, polvo de roca, arenas muy finas u otros que sean compatibles con la química del cemento y que permitan complementar las condiciones granulométricas del árido, asegurando con ello mezclas cerradas, con baja porosidad y alta densidad. Es preciso elaborar morteros de prueba para verificar su incidencia en la calidad del producto elaborado.

3. PROCESO DE FABRICACIÓN

3.1. ELABORACIÓN DEL MORTERO

La elaboración del mortero es mecánica mediante betoneras diseñadas expresamente para la producción de morteros, con un tiempo de revoltura prolongado (4 a 5 minutos), para alcanzar un buen grado de homogeneización de la mezcla y el aditivo, y la consistencia requerida.

Se recomienda, como secuencia de carguío, incorporar el 80% del agua de amasado al inicio; el 50% de la arena, el 100% del cemento, el resto de la arena y el agua. El tiempo de mezclado tiene que ser entre 2 a 3 minutos, lo que permite alcanzar una plena integración de los componentes del mortero, asegurando la consistencia y grado de homogenización requeridos. Si se contempla el uso de aditivo hidrófugo de masa, éste podrá dosificarse en una dilución entre 1:12 y 1:15 (aditivo-agua).

Si se considera el empleo de aditivo fluidificante, éste se puede diluir en el agua de amasado o incorporar directamente a la masa del mortero en el proceso final de amasado. Si se requiere mejorar la fluidez final de la mezcla el aditivo se agrega en una dosis de 0.5 a 1.5% del peso del cemento. Si se desea obtener altas resistencias iniciales la dosis será de 1 a 2% del peso del cemento, reduciendo el agua de amasado de la mezcla entre 10 a 20% según dosis de aditivo usado o consistencia requerida.

3.2. PREPARACIÓN DE ARMADURAS PARA PANELES DE MURO

Ésta se conforma con barras de acero AT 56-50 de ϕ 4.2 mm dispuestas en sentido longitudinal cada 17 cm. y transversalmente cada 30 cm. su unión en los cruces es mediante electrosoldado o amarras de alambre negro N°18. Las armaduras interiores del panel se amarran con el mismo acero, siguiendo el eje de simetría del nervio. Se fija la malla mediante escuadras conformadas con los extremos de la armadura transversal de la placa del panel, de acuerdo a detalle de estructura. ACMA Chile fabrica de acuerdo a las especificaciones, mallas electrosoldadas, como también las escalerillas de los nervios. Lo que garantiza la uniformidad de las dimensiones.

Para evitar el fisuramiento del mortero en algunas zonas con climas agresivos, opcionalmente se puede adicionar solidariamente a la cara superior de la malla de acero de ϕ 4.2 mm, una sola malla hexagonal tipo gallinero de $\frac{3}{4}$ " de abertura y ϕ 0.67 mm. Se debe cuidar en la instalación de esta malla que quede perfectamente adherida a la enfierradura resistente, manteniendo la planeidad de la armadura. Su fijación se hace mediante hebras del mismo material o bien con

alambre N°18. Esta armadura debe presentar un recubrimiento de 7 mm para evitar la oxidación del acero.

3.3. PREPARACIÓN DE ARMADURAS PARA LOSAS PREFABRICADAS

Éstas se conforman con barras de acero AT 56-50 de ϕ 4.2 mm y acero A 63-42 H de 8 mm de diámetro. De acuerdo a especificaciones y detalles de estructuras el fierro de ϕ 4.2 mm se ubica longitudinalmente en la zona comprimida de la losa y en la conformación de los estribos cada 25 cm. el acero de ϕ 8 mm se dispone en las nervaduras para soportar los esfuerzos de tracción. Sus encuentros pueden hacerse mediante electrosoldado o con amarras de alambre negro N°18 en cada cruce.

El recubrimiento de la armadura resistente es de 1 cm. como mínimo lateralmente y 2,5 cm. con respecto al fondo del nervio de la loseta.

En este elemento no se requiere el uso de la malla hexagonal, sin embargo, si el mortero diseñado pudiese verse afectado por retracciones importantes, debido a efectos climáticos o ambientales agresivos, es preciso colocar dicha malla hexagonal tipo gallinero en toda la envolvente de la armadura, disminuyendo con ello fisuramiento o agrietamiento.

En la cara superior de la loseta se dejan debidamente amarrada a la armadura espárragos de fierro ϕ 4.2 mm cada 40 cm., para permitir fijar posteriormente la armadura de la sobrelosa.

3.4. ARMADO DEL MOLDAJE

Su preparación y armado se realiza de acuerdo a planos de detalle de las partes y piezas, cuidando mantener la geometría y tolerancias especificadas (2mm), y cualquier deformación o hendiduras se verá reflejada en el producto final por lo que no es aconsejable su uso hasta corregir sus defectos. A la vez, se debe eliminar completamente la presencia de grasas, aceites, morteros adheridos, oxidación u otros materiales que presente el molde, previo a su uso.

Al depositarlos sobre la superficie de la mesa vibradora debe verificarse su correcto asentamiento, permitiendo con ello una transmisión de la vibración uniforme a todo el molde y por consecuencia a la mezcla de mortero. Esto contribuye a que el producto obtenido sea de óptima calidad.

En los componentes que en su diseño contemplan nervaduras, la forma de estas es, entregada por un amoldamiento preelaborado, de rápido y fácil montaje que se dispone en su ubicación inmediatamente después de la colocación de las armaduras. A todas las caras expuestas al mortero se le aplica desmoldante.



Moldaje placa. Fig. N° 15

3.5. COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS, LLENADO DE MOLDES Y COMPACTACIÓN

3.5.1. En el panel de muro con cara expuesta amoldada

Previo a la ubicación de la armadura es recomendable colocar una primera capa de mortero uniformemente distribuida en el molde en un espesor suelto de aproximadamente 1,5 cm. Sobre esta capa se asienta la armadura asegurándose que su recubrimiento una vez vibrado el mortero sea de 7 mm. Se contempla la colocación del mortero con un exceso sobre el borde superior del molde y se procede a una previbración durante 10 seg, lo que permite configurar la placa panel. A continuación se vacía el mortero sobre los moldes (Fig. N°16) que dan forma a los nervios del panel y se vibra el conjunto placa-nervio por un periodo de 15 seg; manteniendo siempre un exceso de mortero sobre el borde superior del molde de los nervios, se puede optar por fabricar el nervio en forma posterior en la mesa de trabajo teniendo presente que se debe ejecutar antes de tres horas.

Si se verifica que el tiempo de vibrado es insuficiente o excesivo (dependiendo de la fluidez de la mezcla) la amplitud y frecuencia de vibrado se deben hacer los ajustes necesarios para lograr obtener la máxima compacidad del mortero en el molde.

Concluido el proceso de consolidación de la mezcla, se procede a eliminar el excedente de mortero (Fig. N° 17) y verificar las dimensiones y geometría del elemento elaborado.

Se retira el molde de la mesa de vibrado, deslizándolo suavemente a la plataforma de almacenamiento provisional, para el precurado, cubriendo el elemento con láminas de polietileno o recibiendo una película o membrana de curado. Si es necesario adelantar la madurez del hormigón por efectos de despacho, transcurridos entre 1,5 a 2 horas de su fabricación, se incorpora a un proceso de curado por temperatura (60°C) y vapor durante 4 horas, para luego dejar enfriar gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente (aproximadamente 2 horas).

Si no es factible el uso de este método de curado, se considera como alternativa el uso de riego por aspersión, neblina o inmersión en agua. Estos procedimientos se pueden aplicar una vez que el mortero presenta un grado de endurecimiento suficiente como para no ser afectado en su calidad.

El tiempo de desmolde es el que permita recuperar el elemento producido sin daños, ni fisuras. Esto puede variar entre 8 a 24 horas.

El proceso de curado es recomendable mantenerlo por un periodo de 7 días.

3.5.2. Para el muro con cara expuesta terminada mediante allanado

Este procedimiento se diferencia del método anterior, en que la superficie del panel es acabada mediante un allanado a grano perdido, debido a que el molde adopta la forma interior del panel.

Se coloca una primera capa de mortero suelto sobre el molde (aproximadamente 1,5 cm.), se asienta la armadura y se completa con mezcla el molde, con un exceso de material sobre el borde superior de él. Se verifica que la armadura, al momento de consolidar la mezcla quede en todo su desarrollo con el recubrimiento mínimo establecido, evitándose la oxidación del acero.

Se vibra el conjunto por un periodo no superior a 3 seg, para luego proceder a enrasar, eliminado el exceso de mortero del molde (Fig. N° 17). Su terminación superficial se logra con dos pasadas de llana por un mismo punto, dejando una textura prácticamente lisa y plana.

En reemplazo de este método, es posible utilizar sobre la superficie del mortero una cercha vibradora ligera, produciendo un mejor acomodo de los constituyentes de la mezcla y un acabado de superior calidad.

Los procedimientos de precurado, curado y desmolde son similares a lo enunciado en el ítem 3.5.1.

3.5.3. En losas prefabricadas

Considerando el diseño y dimensionamiento de las losas, se tiene especial cuidado en la estructuración y rigidización de los moldes.

El molde se deposita sobre la mesa de vibrado, cuidando que se logre un satisfactorio asentamiento sobre la cubierta, asegurando una buena distribución de la vibración sobre el molde.

Se coloca la armadura cuidando respetar los recubrimientos mínimos mediante separadores.

Se vacía el mortero inicialmente en los espacios correspondientes a las nervaduras y se compacta por 5 seg para evitar la sedimentación de la mezcla. Se continúa el vaciado en el resto del molde dejando un exceso de mortero sobre el borde superior. Se compacta por un periodo no mayor a 30 seg, asegurándose que se ha producido una satisfactoria eliminación de burbujas de aire atrapado.

Mediante enrase, se elimina el excedente de material, dejando la superficie del mortero con una textura rugosa para permitir una mayor adherencia y roce con la mezcla de la sobrelosa. Esta terminación puede ser obtenida mediante platachado.

Se debe precurar y curar siguiendo los mismos procedimientos indicados en el punto 3.5.1. El desmolde se lleva a cabo entre 12 a 24 horas después de consolidado el mortero, evitando ejercer esfuerzos y/o movimientos que pongan en riesgo la calidad del producto elaborado.

3.5.4. Verificación de dimensiones

Las tolerancias de fabricación de todos los elementos (paneles y losetas), tanto en el sentido longitudinal como transversal, no pueden superar a 3 mm en el elemento terminado.

El espesor de los paneles en toda su superficie puede tener una tolerancia no superior a 2 mm de panel terminado, estas medidas condicionan el plomo del muro y su alineamiento.

3.5.5. Llenado de partes y piezas

La colocación del mortero, se realiza bajo procedimiento manual (fig. N° 16), poniendo especial atención a que el vaciado sea uniforme en cada elemento. Para lograrlo, se inicia su colocación gradual a partir de un extremo, hasta alcanzar el otro, evitando de esta forma dejar aire atrapado y con ello minimizar la presencia de burbujas de aire en las caras expuestas al moldaje.



Vaciado del mortero

Fig. N°16



Enrasado y platachado de la pieza

Fig. N° 17

3.6. DESMOLDE

En general, éste se realiza cada 12 hrs., tiempo impuesto principalmente por el armado y rectificación de los moldajes, como por la forma de algunos elementos. Sin embargo, se estima que con moldajes metálicos este periodo se puede reducir en un 50% e incluso en algunas piezas planas, como las placas de cielo, su desmolde puede ser de inmediato.



Descimbre placa. Fig. N° 18

4. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CURADO

El transporte de los elementos se lleva a cabo mediante el empleo de carros móviles con amortiguación para evitar sobre esfuerzos a los prefabricados. El carguío y descarga se ejecuta con equipos de alzado manuales o mecánicos.

El almacenamiento de los paneles de muro se realiza sobre una superficie plana y estable, disponiendo las placas en forma inclinada a 60° o encastillada horizontalmente con separadores de madera (tres en el largo) hasta una altura máxima de 10 placas. Por mal asentamiento de las placas se puede producir deformaciones que impidan su utilización en el montaje. Las losas, se almacenan horizontalmente, encastilladas con la nervadura hacia abajo y en una altura equivalente a 5 piezas. Deben depositarse sobre huinchas de madera (6 en el largo), cuidando en su posición no afectar la contraflecha del prefabricado.

Estas disposiciones facilita la aplicación de un curado húmedo mediante rociado de agua, por un periodo mínimo de 7 días.



Almacenamiento paneles para su posterior curado

Fig. N° 19

5. TRANSPORTE DE LOS PREFABRICADOS A OBRA

Los prefabricados se transportan sobre camiones con plataforma plana y en buen estado, disponiendo las piezas debidamente clasificadas y ordenadas de acuerdo a su uso en terreno. En planta, cada panel es numerado e identificado conforme a su ubicación en la vivienda, por lo que en su carguío y descarga debe respetarse.

Cada camión, debe transportar idealmente los componentes totales de una vivienda; sin embargo, si lo anterior no es factible como mínimo se debe transportar un piso de la vivienda. La disposición de los elementos prefabricados en la plataforma del camión debe ceñirse por lo indicado en el punto 4.

6. ALMACENAMIENTO DE LOS COMPONENTES A PIE DE OBRA

Se recomienda ubicarlos lo más próximo al lugar del emplazamiento de cada vivienda acopiándolos ordenadamente y de acuerdo con la secuencia de carguío establecida en la planta para su transporte. Dicha frecuencia, estará en concordancia con el procedimiento de montaje, lo que permitirá mejorar el rendimiento del proceso constructivo.



Fig. N° 20

CAPÍTULO V**PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDA
EN FERROCEMENTO DE TRES NIVELES**

Fig. N° 21

1. GENERALIDADES

Considerando esta situación, el proceso constructivo fue abordado de manera similar a la de una construcción tradicional pero implica una secuencia de colocación debidamente estudiada, resumiéndose en la siguiente forma:

El sistema constructivo está constituido por un panel exterior, montado y apoyado en la parte superior del sobrecimiento a través de su nervadura inferior.

En la cara interior del panel exterior se coloca en la zona confinada por las nervaduras una plancha de poliestireno expandido de 20 mm y de una densidad equivalente a T15. Antes de proceder a la colocación del panel interior se coloca papel fieltro N°15 o similar, adherido a la nervadura mediante adhesivo, para permitir la conformación de la primera cámara de aire. Previo al montaje del panel interior, se procede al tratamiento térmico similar al panel exterior y al montarlo se genera la segunda cámara de aire; de esta forma se logra un muro de 15 cm. de espesor con aislación y doble cámara de aire.

El panel interior se monta previo trazado en el sobrecimiento de la línea de montaje, en la parte superior esto es reemplazado por una lienza. La unión vertical de los paneles en toda su altura debe ser de tal manera que no se produzcan separaciones, que permitan movimientos al panel, por la unión se puede ver la luz, pero no separaciones.

Siguiendo con el proceso, se procede a llenar de mortero los pilares que se generan cada 0.50 m, y las cadenas superiores en el caso de un piso, y la viga y losas en el caso de viviendas de dos o tres pisos. Posteriormente, se termina con la estructura de techumbre.

2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Bajo las premisas anteriores se plantea el desarrollo de una vivienda en ferrocemento que responda de la mejor forma posible a la necesidad de espacios habitables y dentro de un marco de calidad preestablecido.

El sistema que se propone se concibe utilizando ferrocemento como material. Este material tiene la ventaja de poder ser utilizado en láminas, cuyo espesor varía entre 20 y 30 mm. Esta forma laminar, deformable tanto a la flexión como al pandeo, necesita de pliegues y/o nervios para su rigidización, autosustentación y transmisión de cargas.

Por tal razón, en una primera fase en cuanto a consideraciones del diseño, se estima el desarrollo de un panel básico prefabricado y repetitivo. Sin embargo, y a pesar de que éste cumple los requerimientos mecánicos, por su espesor resulta vulnerable a otros factores, tales como: transmisión térmica, acústica, impacto a los golpes, estanquidad de uniones entre panel y panel, etc.

Teniendo presente lo anteriormente expuesto y, la necesidad de compatibilizar diseño y calidad, se llega a definir un doble panel, un panel para el exterior y otro para el interior, colocados frente a frente, permitiendo de esta manera que las nervaduras conformen un pilar de unión sirviendo de moldaje a un mortero fluido, permitiendo de este modo un todo resistente y solidario. La cámara de aire entre los dos paneles (exterior e interior) es la base para solucionar los problemas que surgen de la interacción vivienda-clima local.

Para resolver puertas y ventanas; se pensó en paneles especiales los que finalmente se desecharon con el propósito de disminuir la cantidad de paneles distintos. Por tal razón se incorporó la carpintería en ferrocemento para perforar vano de ventanas en el panel tipo y ajustes de partes y piezas. Se estima ésta una solución práctica y muy factible.

Como elementos de amarre del sistema actúan principalmente cadenas perimetrales, superior e inferior y correspondientes tensores. Colaboran al mismo propósito distintas partes y piezas de cubierta, cielos, etc.

La base del sistema propuesto, la forma y medida de los paneles y demás partes y piezas del sistema son el resultado de la conjugación de varios factores, tales como: peso, montaje, superficie de la vivienda, funcionalidad de los espacios interiores, modulación de puertas y ventanas y el cumplimiento de las normas referentes a la coordinación modular, entre otros.

3. EJECUCIÓN

3.1. GENERALIDADES

La vivienda construida especificó la utilización prácticamente íntegra de elementos prefabricados, con la sola excepción de las fundaciones, radier y estructura de techumbre, que por razones de orden técnico y económico hacían aconsejable utilizar los métodos tradicionales de edificación.

Considerando esta situación, el proceso constructivo fue abordado de acuerdo a la siguiente secuencia:

3.2. LIMPIEZA DEL TERRENO

Antes de dar comienzo a la ejecución de la obra, se procede a la limpieza del terreno consistiendo en una eliminación de la capa vegetal y despeje de escombros, a fin de disponer de una superficie de trabajo plana y limpia.

3.3. TRAZADO Y NIVELES

Se ejecuta el replanteo de la vivienda, determinándose los ejes y niveles en base a los antecedentes del proyecto. Los niveles se fijan con instrumentos a partir de una cota de referencia 0,0 equivalente al nivel de piso terminado, garantizando con ello que los cimientos queden a una profundidad conveniente con respecto al suelo de fundación y a la no infiltración de aguas lluvias. Fig. N°22

3.4. EXCAVACIONES

El vaciamiento del terreno se puede realizar manualmente y en las dimensiones establecidas para albergar los cimientos corridos del perímetro e interior de la vivienda. Fig. N°22

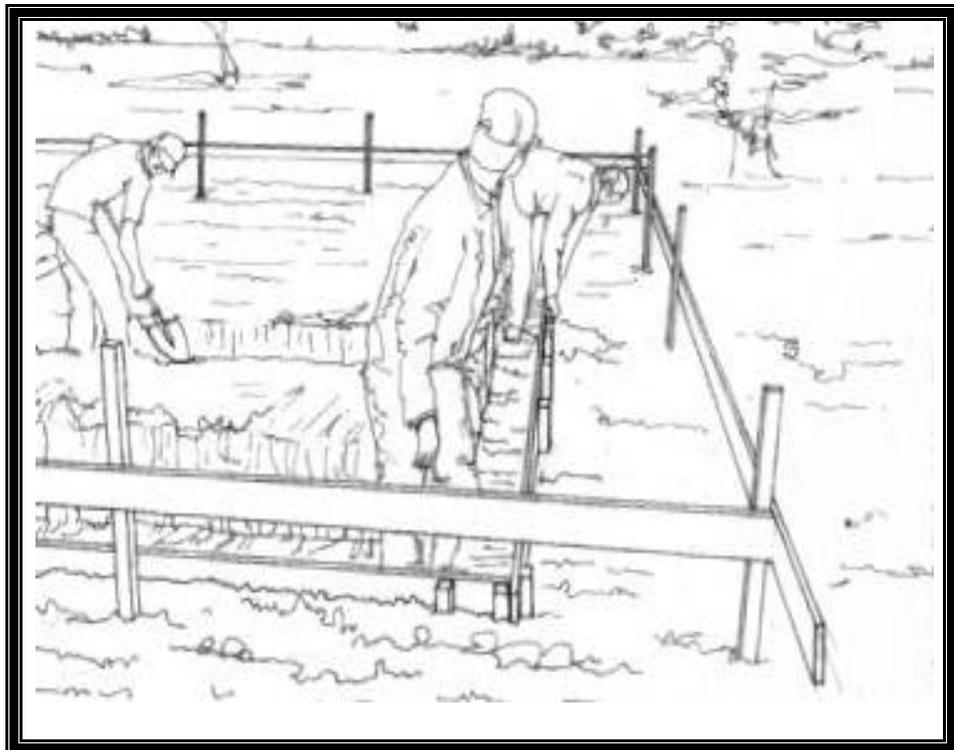


Fig. N°22

3.5. COMPACTACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN

El sello de fundación debe garantizar a lo menos los siguientes aspectos de calidad.

- ◆ Debe quedar a lo menos 20 cm. bajo el nivel del terreno sano, libre de materia orgánica.
- ◆ En caso de existir estratos de materia orgánica o capa vegetal de espesor mayor a la profundidad estipulada para los cimientos, se excavará hasta penetrar no menos de 5 cm. en terreno sano, libre de materia orgánica y luego de compactarse se rellenará hasta alcanzar los niveles definidos en el proyecto.
- ◆ El terreno natural que fijará el sello de fundación, o el nivel base para el mejoramiento de suelo, se compactará rigurosamente con un pisón mecánico.
- ◆ Los rellenos que se requieran deberán ejecutarse conforme a lo estipulado en el acápite correspondiente.

En este caso en particular, el sello de la excavación fue compactado manualmente, para luego recibir una capa de 10 cm. de material granular compactado, para mejorar la capacidad resistente de éste.

3.6. FUNDACIONES

3.6.1. Generalidades

Las fundaciones son corridas y se construyen en base a un hormigón H-20 con un emplantillado (170 kg cem/m^3) de 5 cm., cuya forma y dimensiones son las indicadas en el proyecto.(Anexo C)

El interior de la fundación llevará una armadura de $\phi 12$ ó 4.2 mm en el eje de los paneles de muro a 0.50 m aproximadamente, preparado conforme a lo indicado específicamente para este ítem en el punto correspondiente.

3.6.2. Moldajes

Esta partida considera la provisión y confección de todos los moldajes que permiten moldear el hormigón y el mortero de acuerdo a los lineamientos y geometría especificada en los planos y conforme a lo establecido por la NCh 170 of. 85.

- ◆ Serán de madera contrachapada o planchas metálicas.
- ◆ Interiormente serán tratados con agentes desmoldantes que aseguren el fácil retiro de los moldes sin deterioro, y que no incorporen coloración al hormigón.

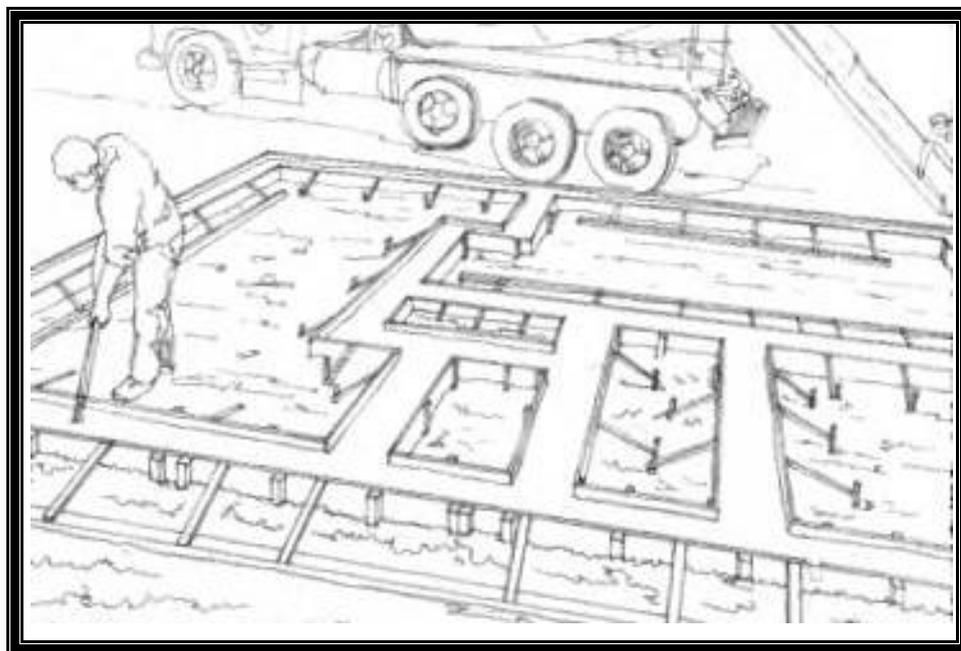


Fig. N°23

3.6.3. Cimiento de hormigón

Se utiliza un hormigón H-20-40-5 premezclado, con un nivel de confianza de 80% y con una sección de 60 cm. de ancho por 50 cm. de alto, tomándose las precauciones necesarias para el paso de las redes de instalaciones sanitarias.

Su colocación será normal, y consolidado por medio de vibración mecánica de frecuencia adecuada a la fluidez de la mezcla.

3.6.4. Sobrecimiento de hormigón

El sobrecimiento se conforma de una sección de 12.5 cm. de ancho por 30 cm. de alto en hormigón H-20, con hidrófugo incorporado y colocado con vibrador. Además, se coloca una armadura de 12 mm diámetro según distribución de los planos respectivos. Posteriormente, el sistema completo se amarra a través de estribos de Fe de 8 mm a 20 cm. con un largo de 45 cm. A continuación se procede a concretar el monolitismo de esta estructura hasta alcanzar el nivel de

calce de los paneles de muros. En esta etapa también se dejan dispuestos y debidamente afianzados los espárragos de Fe de 8 mm de diámetro en la línea de configuración de los pilares.

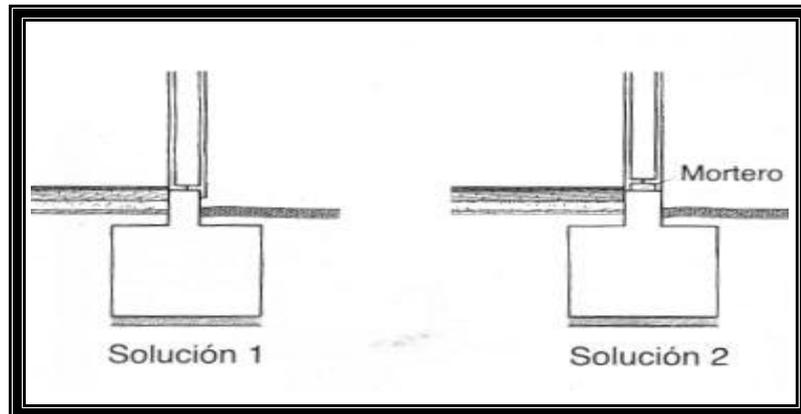


Fig. N°24

3.7. RELLENOS COMPACTADOS

Se ejecutan en base a un chancado de 1 ½", en un espesor de aproximadamente 15 cm. debidamente compactado, para posteriormente colocar una protección hídrica en base a polietileno en toda la superficie que compromete la construcción del radier.



Fig. N°25

En el caso de requerirse rellenos, bajo las fundaciones o bajo los radieres, éstos se ejecutan conforme al siguiente procedimiento:

- ◆ Se elimina completamente la capa vegetal.
- ◆ Se emplea material inorgánico granular, con una porción de finos limosos, cuya fracción que pasa por la malla N°40 tenga un Límite Líquido menor a 25% y con un Índice de Plasticidad inferior a 6.
- ◆ Relleno en capas con un máximo de 20 cm. de espesor en estado suelto.
- ◆ En los rellenos bajo fundaciones se asegura una Densidad Relativa no inferior a un 70% en caso de emplearse material granular limpio o un mínimo de 90% de la Máxima Densidad Seca lograda a través de un ensayo Proctor Modificado, en caso de emplearse material cuya compactación admita los impactos de un pisón.
- ◆ Las exigencias para los rellenos bajo los radieres podrán disminuirse como máximo en un 20% de las indicadas para rellenos bajo fundaciones.
- ◆ Se controla a razón de un ensayo para los sellos bajo fundaciones y un ensayo para los sellos bajo radieres.

3.8. RADIER AFINADO

Se usa un hormigón H-5-40-05, con 212,5 kg cem./m³ de 6 cm. de espesor, colocado y compactado manualmente en toda la superficie. Este radier irá sobre una capa de relleno estabilizado compactado de 6 cm. de espesor (para este caso) y entre el radier y el estabilizado se proveerá de un film de polietileno de 0.2 cm. de espesor.

Su terminación se produce en fresco en base a una delgada capa de mortero platachado, llegando hasta el borde superior del sobrecimiento y en las zonas de baño y cocina, previo al hormigonado del radier, deben estar recibidas las instalaciones sanitarias.



Fig. N°26

Las superficies de radieres deben ser terminadas de acuerdo al siguiente detalle:

- ◆ Inmediatamente después de colocado el hormigón, las superficies horizontales son emparejadas con regla y terminadas a mano hasta la textura deseada.
- ◆ El hormigonado y curado se ejecuta a la temperatura y condiciones climáticas.

Se considera un hormigón con baja temperatura si en los 7 días previos hay uno o más días con temperatura media de 5 °C. En tal caso, se aplican las recomendaciones del anexo D de la Norma NCh 170-85.

Si las condiciones climáticas fueran de tiempo caluroso, se aplicarán las recomendaciones del anexo E de dicha Norma. En todo caso, será preciso preparar un plan de hormigonado y curado, que contemple incluso las juntas de construcción indicando las precauciones que se han de tomar.

3.9. VERIFICACIÓN DE CALCE DE LOS PANELES DE MUROS

En consideración a que el proceso de producción de los elementos se realiza artesanalmente y con moldajes de madera; es aconsejable en todos los casos chequear las dimensiones y calce de los elementos para evitar los problemas de mal asentamiento, desaplomes o descuadres de las placas prefabricadas. En aquellos sectores en donde fue necesario producir mayores tolerancias para el ajuste adecuado de las placas, éstas se ejecutan mediante el uso de un esmeril con disco de corte diamantado.

3.10. SISTEMA DE APOYO PROVISIONAL DE LOS PANELES DE MUROS EXTERIORES

Para facilitar la presentación y nivelación de los paneles exteriores de muros en el sobrecimiento, se dispone previamente de una estructura de madera auxiliar en base a cuarterones y tablas de pino, debidamente alineadas y aplomadas. Las tablas de pino colocadas horizontalmente en esta estructura en tres alturas y distribuidas uniformemente con respecto a la longitud del panel; se sitúan en una posición equivalente al plomo exterior del muro.



Apuntalamiento de paneles

Fig. N°27

3.11. COLOCACIÓN PANEL EXTERIOR DE MUROS

Su colocación se lleva a cabo manualmente, partiendo en un extremo para conformar una escuadra inicial y a partir de ello presentar, nivelar y apuntalar gradualmente cada panel exterior por muro.



Fig. N°28

3.12. TRATAMIENTO TÉRMICO

De acuerdo a lo especificado, se coloca una plancha de poliestireno expandido de 10 mm. de espesor y baja densidad, en la cara interna del panel exterior. A continuación se colocó en sentido longitudinal papel fieltro de 15 lbs., adherido con cemento C a los nervios perimetrales del panel para formar la doble cámara de aire.

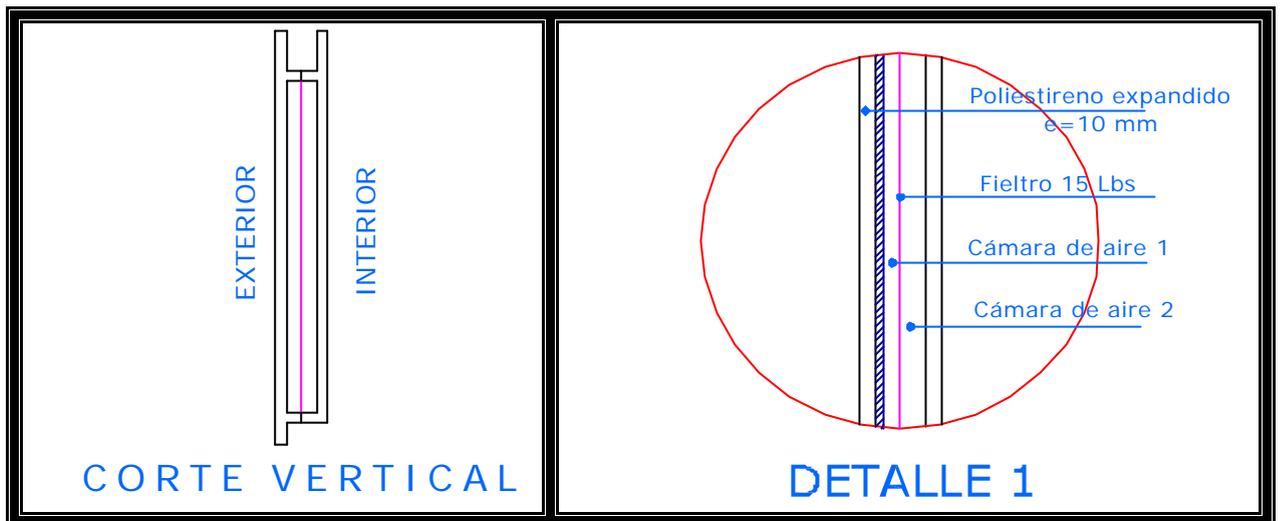


Fig. N°29



Fig. N°30

3.13. COLOCACIÓN PANEL INTERIOR DE MUROS

Dispuesto el panel exterior y realizado el tratamiento térmico, se procede a calzar y a ajustar el panel interior dando forma al muro con doble cámara de aire (Fig. N°31). En esta etapa también se colocan las canalizaciones eléctricas embutidas. (fig. N°32)

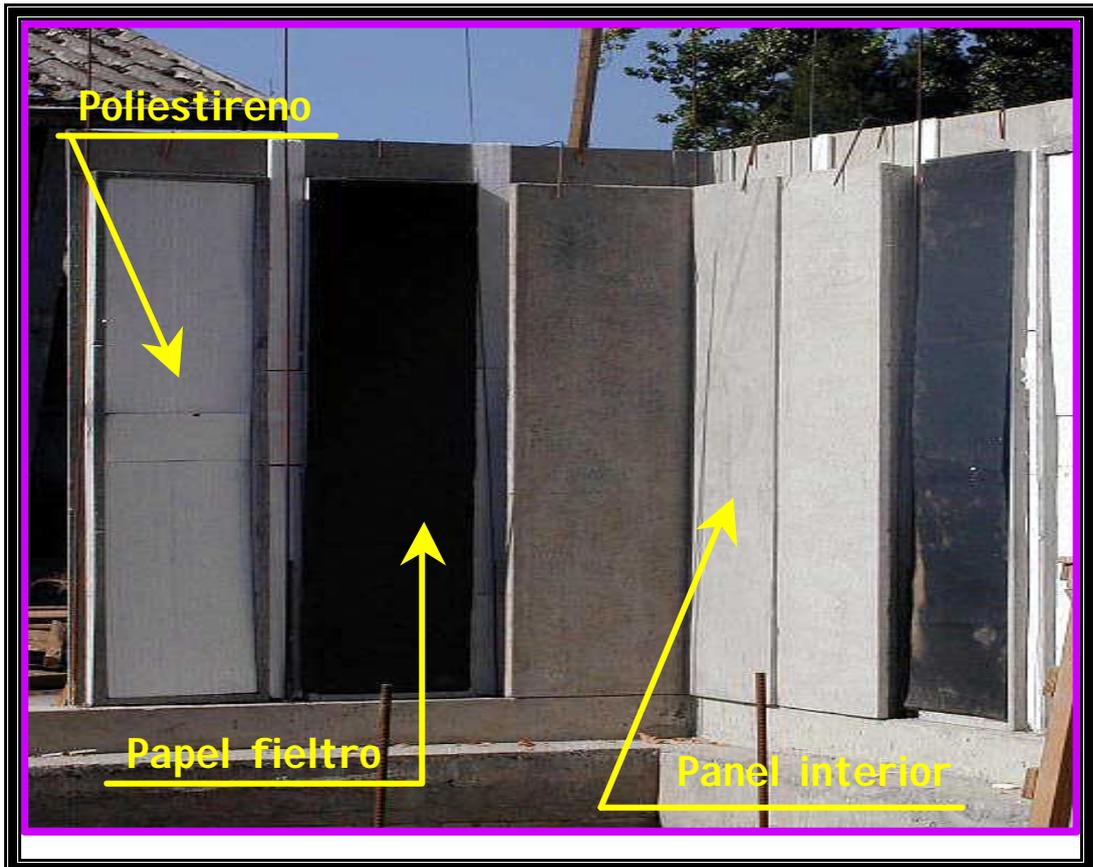
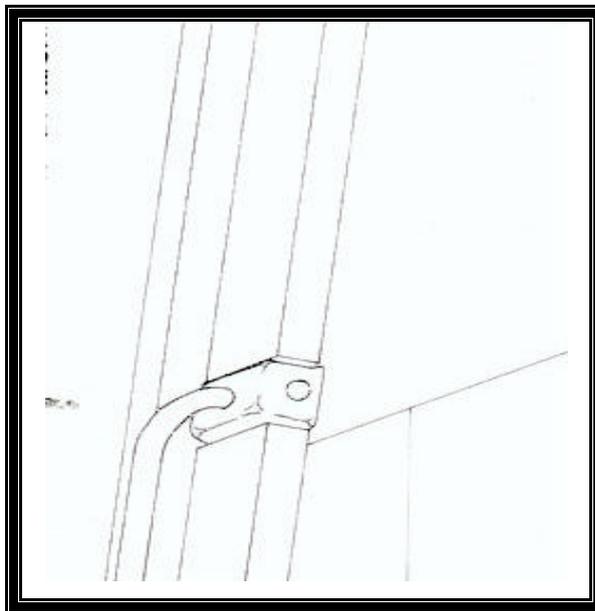


Fig. N°31



Canalización eléctrica embutida. Fig. N°32

3.14. CONFORMACIÓN DE PILARES

De acuerdo al diseño estructural, para poder rigidizar y hacer monolítico el sistema, es necesario conformar los pilares, mediante el vaciado de mortero fluido, partiendo por los esquineros, los encuentros con muros interiores y terminando con los intermedios. En este caso, el mortero es autonivelante, diseñado par una resistencia mínima a la compresión de 200 kg/cm^2 .

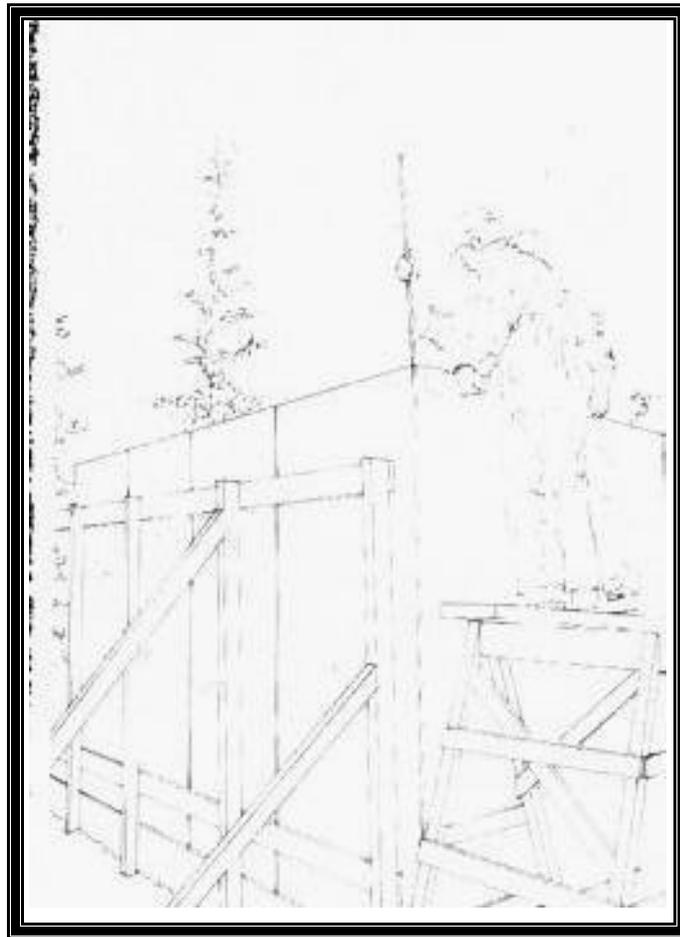
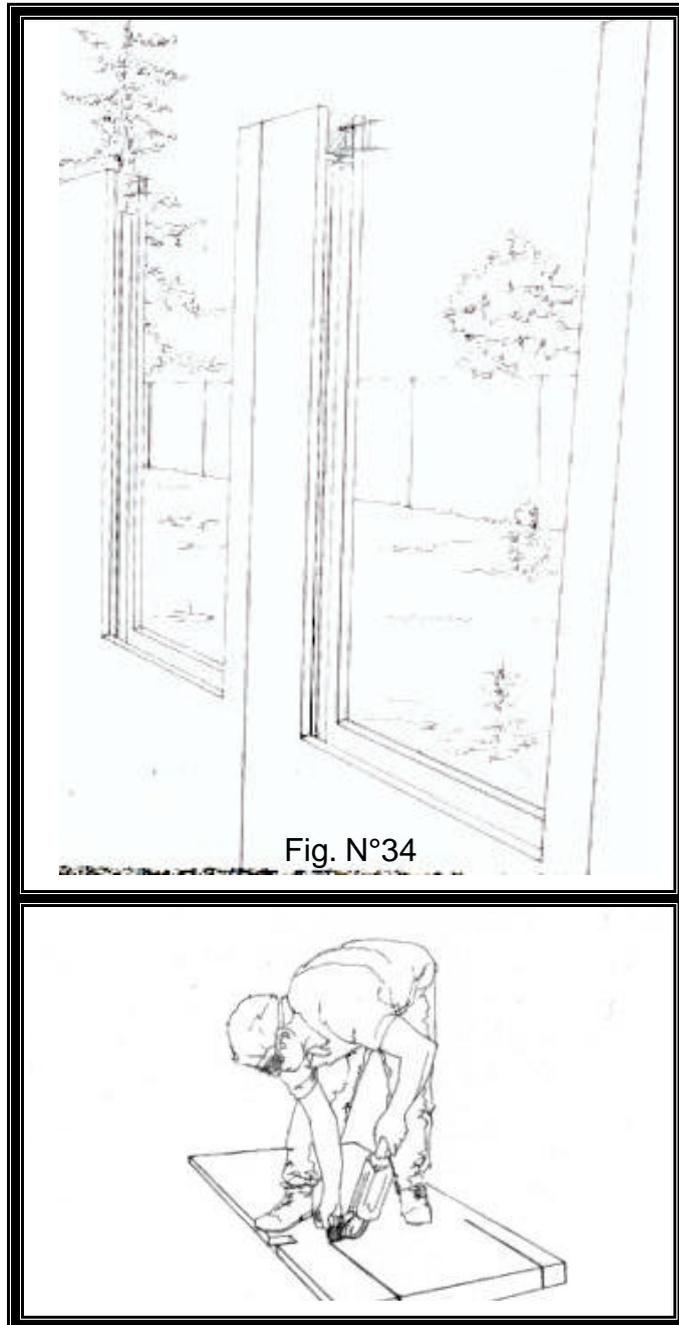


Fig. N°33

3.15. RASGOS DE VENTANAS

Consolidado el sistema de muros, se procede a trazar y abrir los rasgos de ventanas mediante discos diamantados en la forma y dimensiones indicadas en los planos respectivos.



Carpintería en ferrocemento

Fig. N°35

3.16. COLOCACIÓN DE CADENAS Y DINTELES

Al quedar dispuestos los muros exteriores e interiores de la vivienda, se procede a verificar el calce con los paneles que constituyen la cadena y dinteles.

Posteriormente, se ejecutan los cortes para configurar la geometría de muros y perforaciones, para insertar el espárrago superior de acero en los pilares. A continuación se asientan éstos elementos sobre el coronamiento de los paneles de muros, se coloca la armadura superior similar a la del sobrecimiento y se hace el vaciado de mortero hasta alcanzar el nivel superior del panel. Luego, se instalan las losetas, en el caso de una vivienda de dos ó más pisos, y sobre las cadenas se instalan los paneles muros de la misma forma descrita en párrafos anteriores.

3.17. MONTAJE DE ELEMENTOS DE CUBIERTA

Para facilitar esta etapa, se hace necesario conformar previamente una estructura provisional de madera de 2"x3" que permita apoyar y soportar los elementos constituyentes de la cubierta. Se montan en una primera etapa las costaneras de 2"x2" a 50 cm., procediendo a nivelarlas y ajustarlas mediante pernos de acero de 1/4" de diámetro. A fin de sellar el sistema se colocan las planchas OSB de 9 mm que van clavados y sobre éstas se procede a instalar la cubierta; terminando este proceso con la fijación de la cumbrera.



Fig. N°36

4. TERMINACIONES

Finiquitadas las etapas anteriormente descritas, se procede a la colocación de los marcos de puertas y ventanas, los que son afianzados a los rasgos mediante tornillos.

La colocación de las placas que conforman el cielo, se hace dejándolas simplemente apoyadas sobre las pestañas diseñadas en los tirantes inferiores para este efecto.

La colocación de puertas, ventanas e instalaciones de agua y alcantarillado se llevan a cabo de acuerdo a planos y especificaciones conforme a los métodos tradicionales.

Para dar la terminación final a la vivienda construida, se ejecutaron remates en base a mortero a aplicación de pastas y lechadas de cemento.

4.1. TERMINACIONES PARAMENTOS

- a.** El grado de terminación, en cuanto a textura y color de los paneles, que es propio del material, es la alternativa más económica.
- b.** La segunda alternativa, es dar grados de terminación a los paramentos, tanto interiores como exteriores, con pinturas convencionales (óleo, látex, martelinas, etc.)
- c.** Otra alternativa es la incorporación de pigmentos al mortero durante su fabricación, lo que permite un color estable y permanente del sistema.

4.2. TERMINACIONES PISO

- a.** Afinado a cemento puro para todos los recintos de la vivienda.
- b.** Vinilo asbesto (fléxit) en toda la vivienda.
- c.** Cubrepiso sobre mortero platachado, excepto en zonas húmedas.

4.3. VENTANAS

Es recomendable el uso de perfiles de aluminio como solución en zonas del país con clima riguroso y altamente corrosivo.

5. INSTALACIONES

Las instalaciones tanto sanitarias como eléctricas, se han previsto embutidas. Las canalizaciones eléctricas son colocadas durante la etapa de montaje de los paneles, antes de conformar el doble panel, quedando las cajas en los pilares y las canalizaciones de los centros, a través del entretecho.

CAPÍTULO VI

COMPARACIÓN DE COSTOS

1. GENERALIDADES

Lo que se pretende en este capítulo es establecer una comparación de costos por metro cuadrado para viviendas con partes y piezas prefabricadas en ferrocemento en dos pisos y mansarda, dos pisos y un piso y, luego, establecer una comparación en costos por metro cuadrado de una vivienda tradicional en madera con materiales de revestimientos simples con el material en estudio.

2. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN PARA VIVIENDAS EN FERROCEMENTO

2.1. PARA VIVIENDAS DE 63.80 m² EN DOS PISOS Y MANSARDA

2.1.1. Primera Etapa

Vivienda prototipo sin pinturas ni revestimientos de pisos, con losas de entrepiso, terminaciones en base de pintura de cemento color gris y mansarda en obra gruesa habitable, en 63,8 m². Instalaciones completas y embutidas en los muros y losas.

2.1.2. Segunda Etapa

Vivienda prototipo en dos pisos y mansarda, totalmente terminada (con revestimiento interior y exterior en muros y pisos), dos losas de entrepiso, en 63,8 m². Alfombra y fléxit en pisos, todas las instalaciones embutidas en muros y losas. Los paramentos de muros van sin canterías entregando las superficies completamente lisas.

2.2. VIVIENDA DE 48,28 m² EN DOS PISOS

2.2.1. Primera Etapa

Vivienda prototipo sin pinturas ni revestimientos de pisos, con losas de entrepiso en madera, terminaciones en base a pintura de cemento color gris, en 48,28 m². Instalaciones completas y embutidas en los muros.

2.2.2. Segunda Etapa

Vivienda prototipo en dos pisos, totalmente terminada (con revestimientos interior y exterior en muros y pisos) y losa de entrepiso de madera, en 48,28 m². Alfombra y fléxit en pisos, todas las instalaciones embutidas en muros, los paramentos de muros van sin canterías, entregando las superficies completamente lisas.

2.3. VIVIENDA DE 48 m² DE UN PISO

2.3.1. Primera Etapa

Vivienda prototipo sin pinturas ni revestimientos de pisos, terminaciones en base a pintura de cemento color gris, en 48,28 m². Instalaciones completas y embutidas en muros.

2.3.2. Segunda Etapa

Vivienda prototipo en un piso, totalmente terminada (con revestimiento interior y exterior en muros), en 48,28 m². Alfombra y fléxit en pisos, todas las instalaciones embutidas en muros, los paramentos de muros van sin canterías entregando las superficies completamente lisas.

3. COSTOS

3.1. VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS DE TRES PISOS

ETAPA	UF / m²	CANTIDAD	TOTAL
Primera	4,58	63,80 m ²	292 UF
Segunda	6,00	63,80 m ²	383 UF

3.2. VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS EN DOS PISOS

ETAPA	UF / m²	CANTIDAD	TOTAL
Primera	4,58	48,28 m ²	221 UF
Segunda	5,85	48,28 m ²	282 UF

3.3. VALOR DE LAS ETAPAS PARA VIVIENDAS AISLADAS DE UN PISO

ETAPA	UF / m²	CANTIDAD	TOTAL
Primera	4,21	48,28 m ²	203 UF
Segunda	5,44	48,28 m ³	263 UF

4. COMPARACIONES

En definitiva, con lo anteriormente expuesto se ve reflejado la diferencia de costos entre el número de niveles de una vivienda con el mismo material utilizado con y sin terminaciones.

Con ello, también se puede establecer una comparación de costos por metros cuadrados, de una vivienda en madera y una en ferrocemento. En donde, la primera está comprendida entre 7 y 7.6 U.F.; y la segunda, entre 4 y 6 U.F. que en el caso de ser viviendas pareadas, el costo disminuye en un 7%.

CONCLUSIONES

El ferrocemento, como se expuso en la introducción de este tema, es un material cuya característica básica es su versatilidad de uso y, por tanto, la composición cuantitativa de sus componentes varía en una amplia gama traduciéndose en un elevado incremento en la elasticidad del material terminado.

Por otra parte, el ferrocemento requiere de una mano de obra con características disponibles en nuestro país, es decir, de bajo costo, abundante y no especializada.; por lo tanto, la introducción de este sistema sería otra fuente de absorción de mano de obra.

Por otra parte, una ventaja competitiva del ferrocemento deriva de que es posible construir partes, piezas y módulos livianos, fáciles de transportar, en donde no se requiere de grúas ni equipos especiales, junto con el hecho de que sus componentes se basan en unidades estandarizadas factibles de prefabricar, y en donde , por no requerirse de mano de obra especializada y sólo bastando de una cuadrilla de 3 ó 4 trabajadores para el montaje y armado de la estructura se obtienen significativos ahorros de tiempo en lo que se traduce, de igual modo, en costos también menores, lo que genera ventajas en comparación con otros sistemas constructivos.

No obstante, el costo de la vivienda se reduce al utilizar las economías de escala de un proceso industrial, y por el hecho de que el ferrocemento ahorra una serie de barreras (fuego, termitas, humedad) que normalmente deben ser incorporadas en la construcción de viviendas prefabricadas con otros materiales.

Además, no requiere mantención constante, es de fácil reparación, impermeable y de mejor calidad por mucho más tiempo.

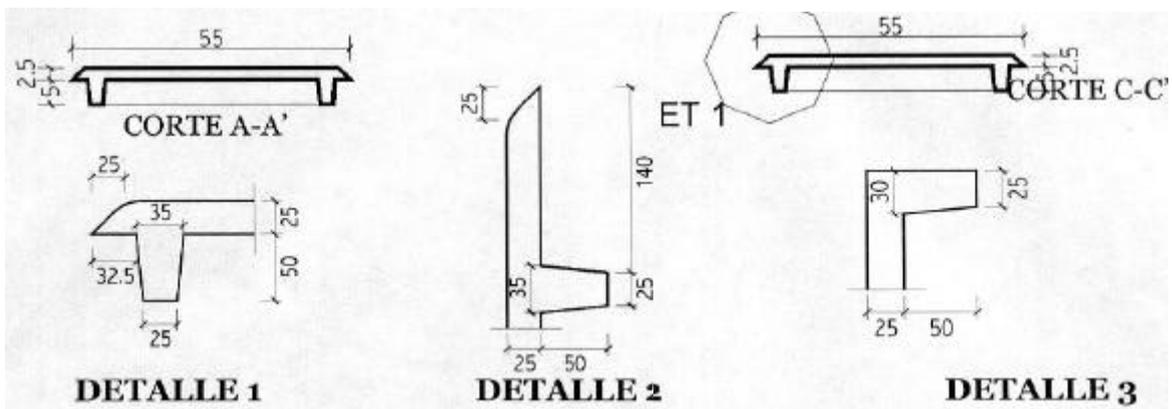
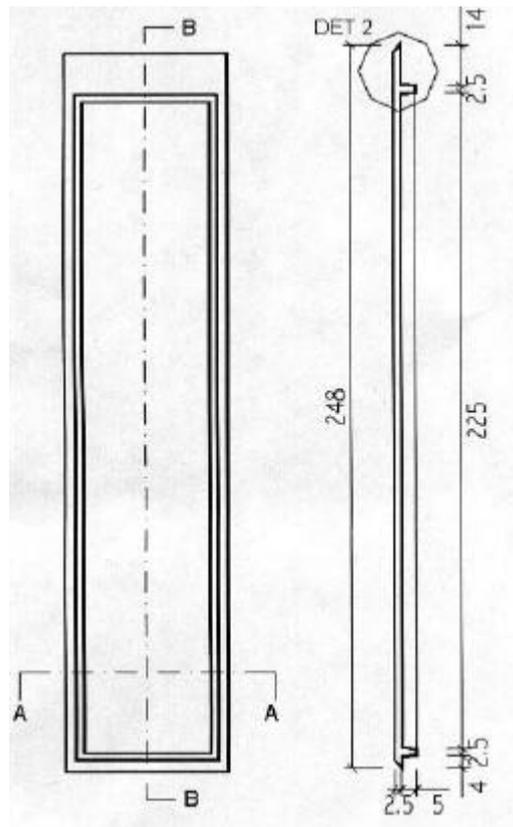
Aproximadamente el costo del metro cuadrado de un inmueble de este material tendría un valor de 5 UF lo que es relativamente bajo comparado con otros sistemas constructivos tradicionales.

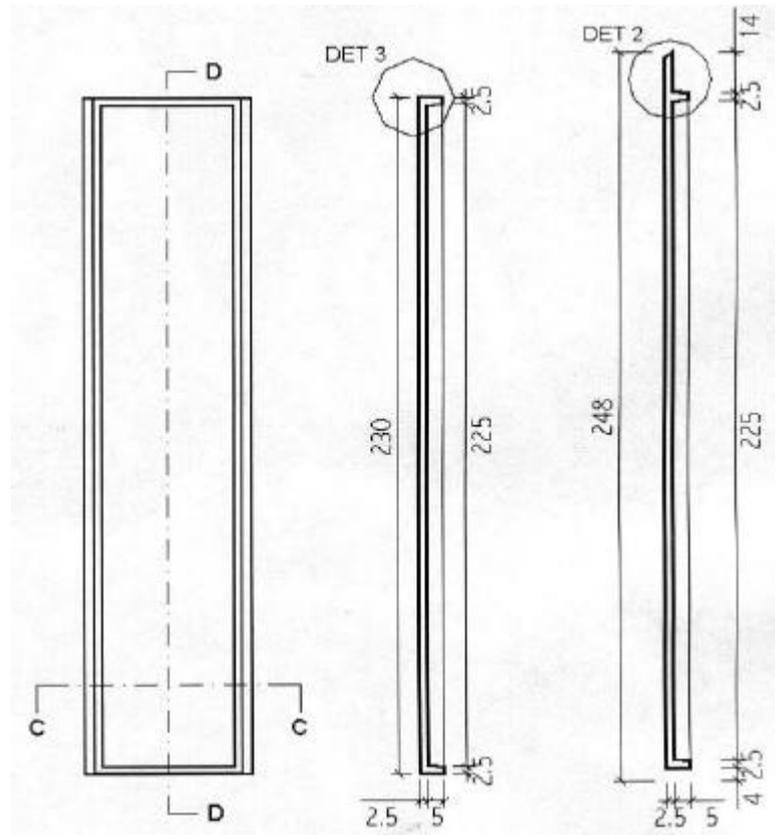
Anexo A

DIMENSIONES GEOMÉTRICAS

PANEL TIPO

PANEL TIPO EXTERIOR



PANEL TIPO INTERIOR

ANEXO B

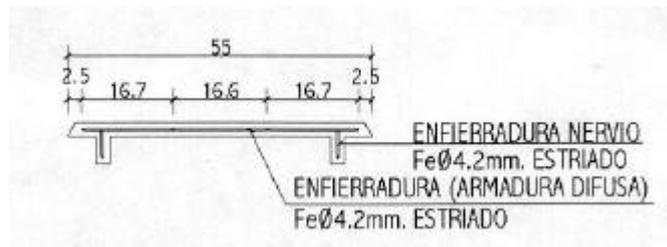
DETALLE ENFIERRADURA

PANEL TIPO

PLANTA



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL



ANEXO C

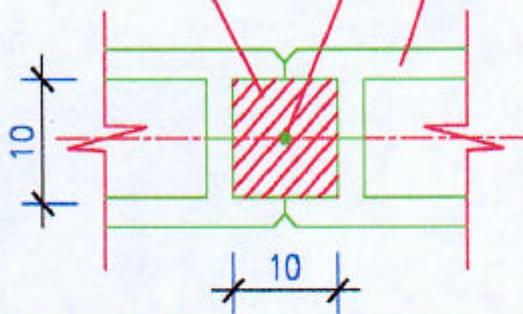
DETALLES CONSTRUCTIVOS

DETALLE PILAR TIPO

MORTERO R=200 Kg/Cm²
U HORMIGON FINO H20
(GRAVILLA TM ½")

1ø4.2 ó 1ø12
EN TODO EL ALTO

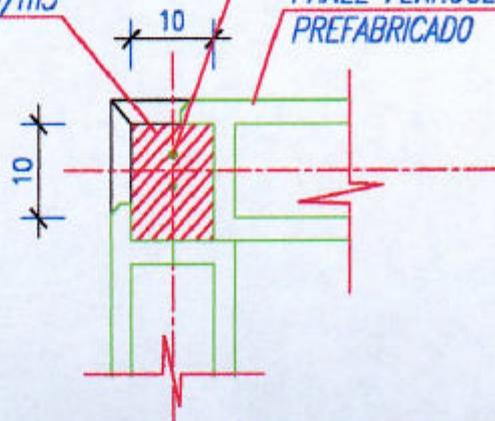
PANEL FERROCEMENTO
PREFABRICADO

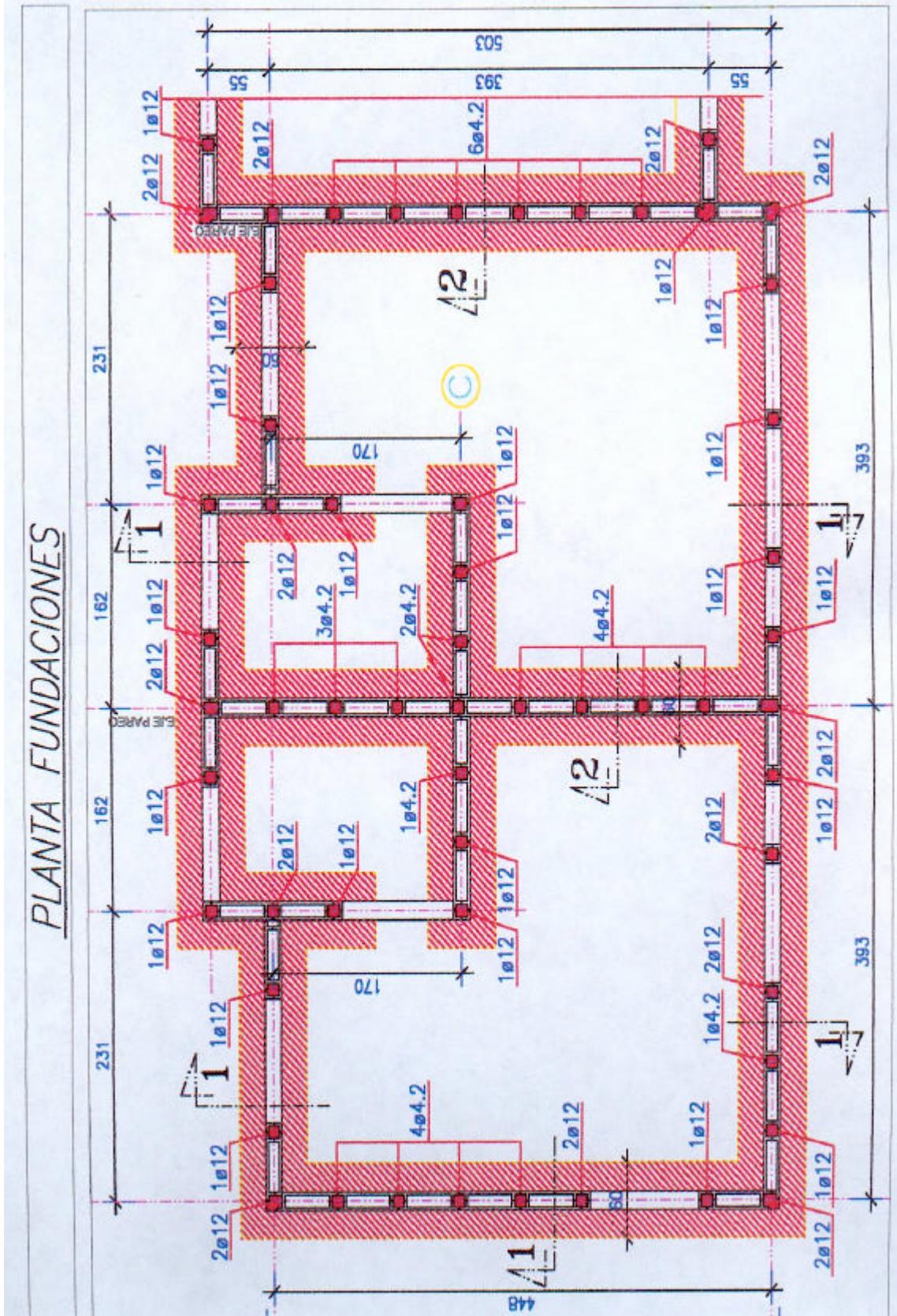
DETALLE PILAR ESQUINA

MORTERO R=200 KgCem/m³
U HORMIGON FINO H20
(GRAVILLA TM ½")

1ø12 CORTO +
1ø12 EN TODO EL ALTO

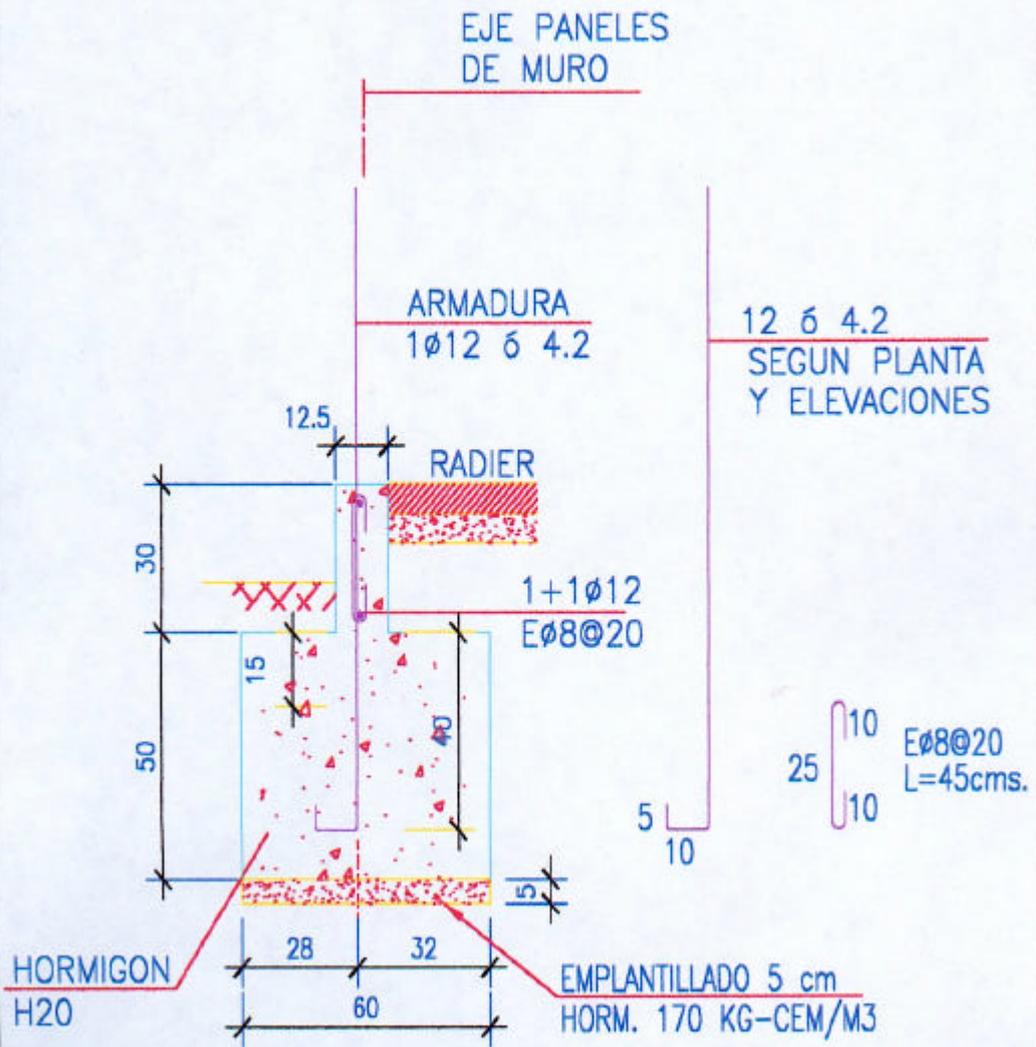
PANEL FERROCEMENTO
PREFABRICADO

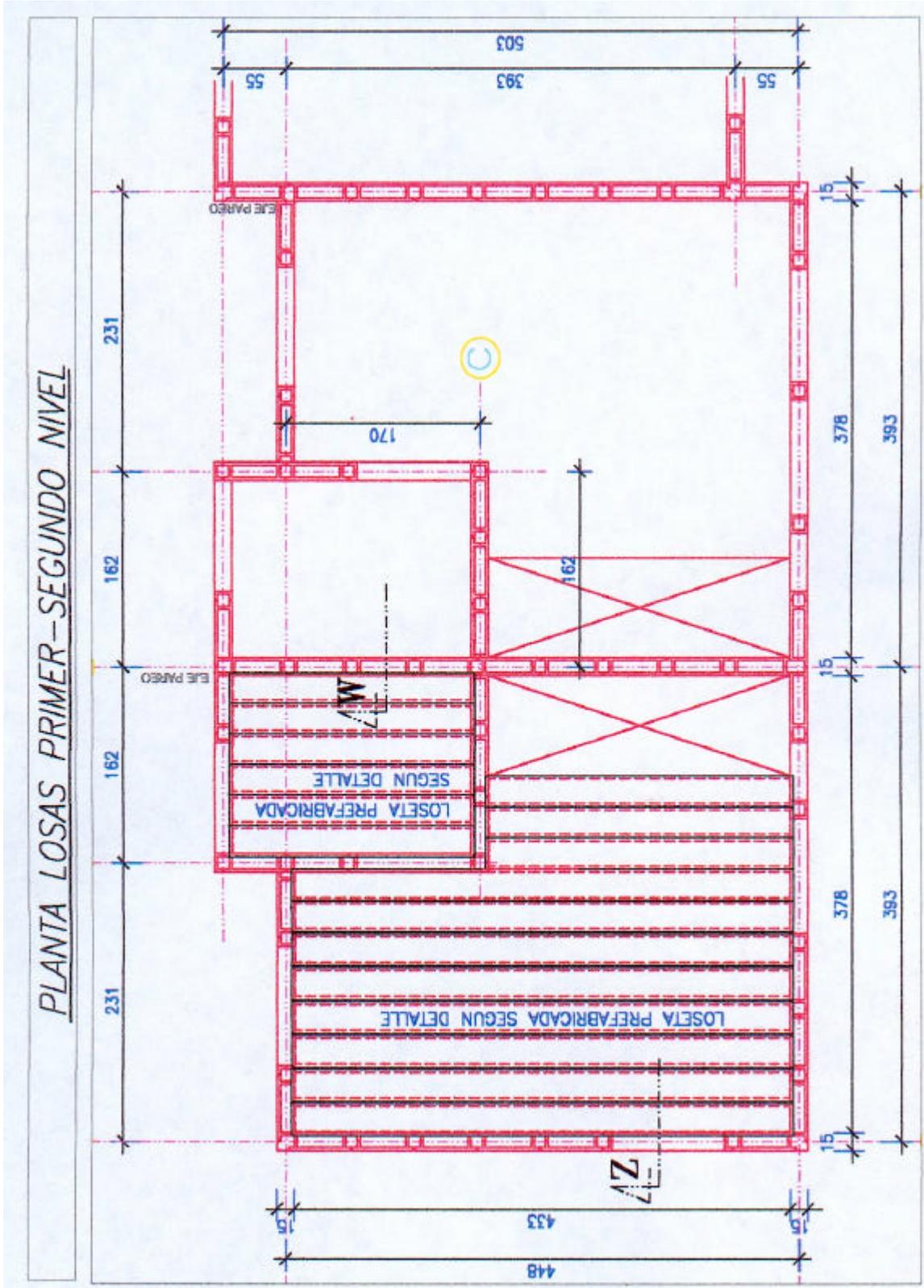




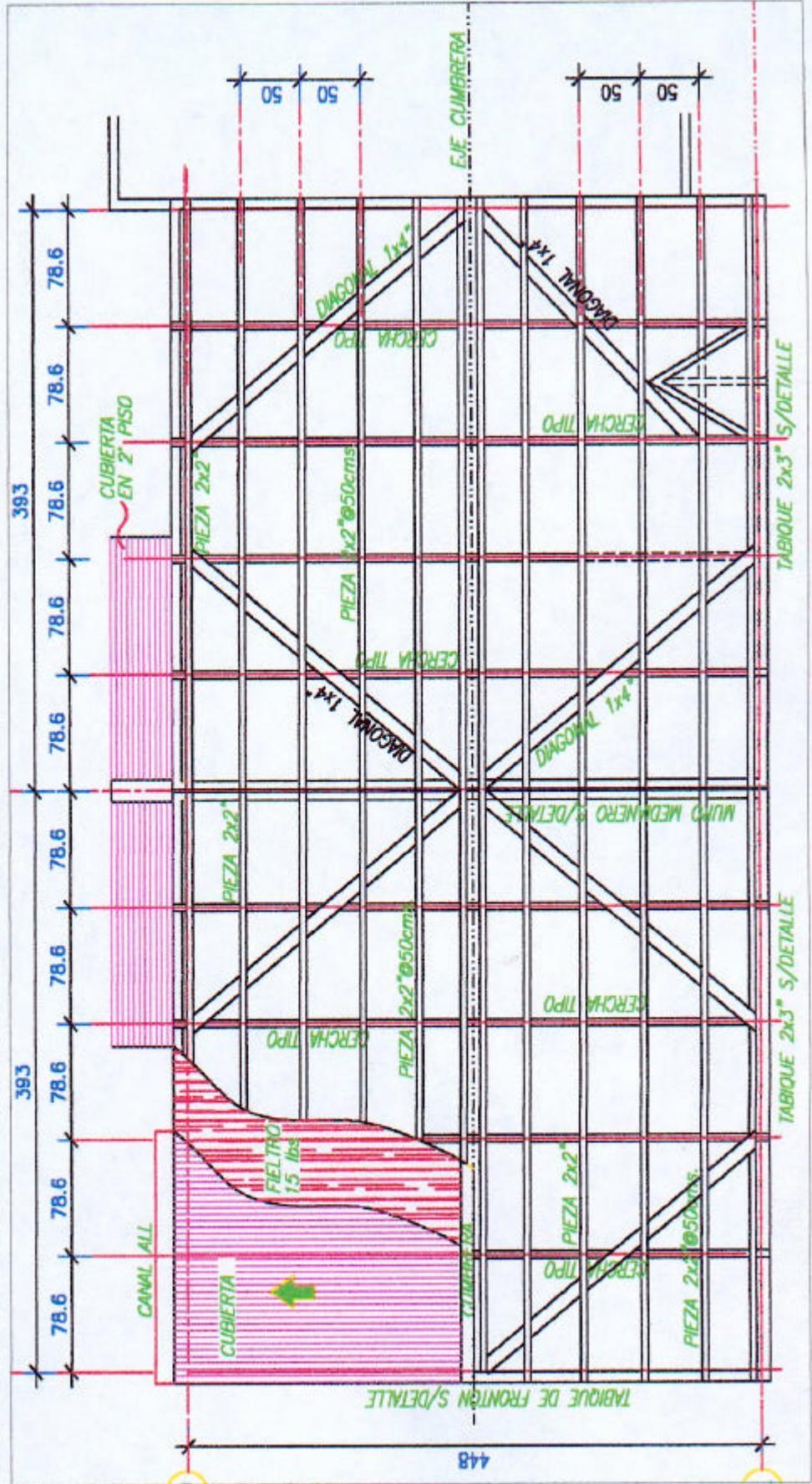
C.M.T.O. CORRIDO CORTE 1

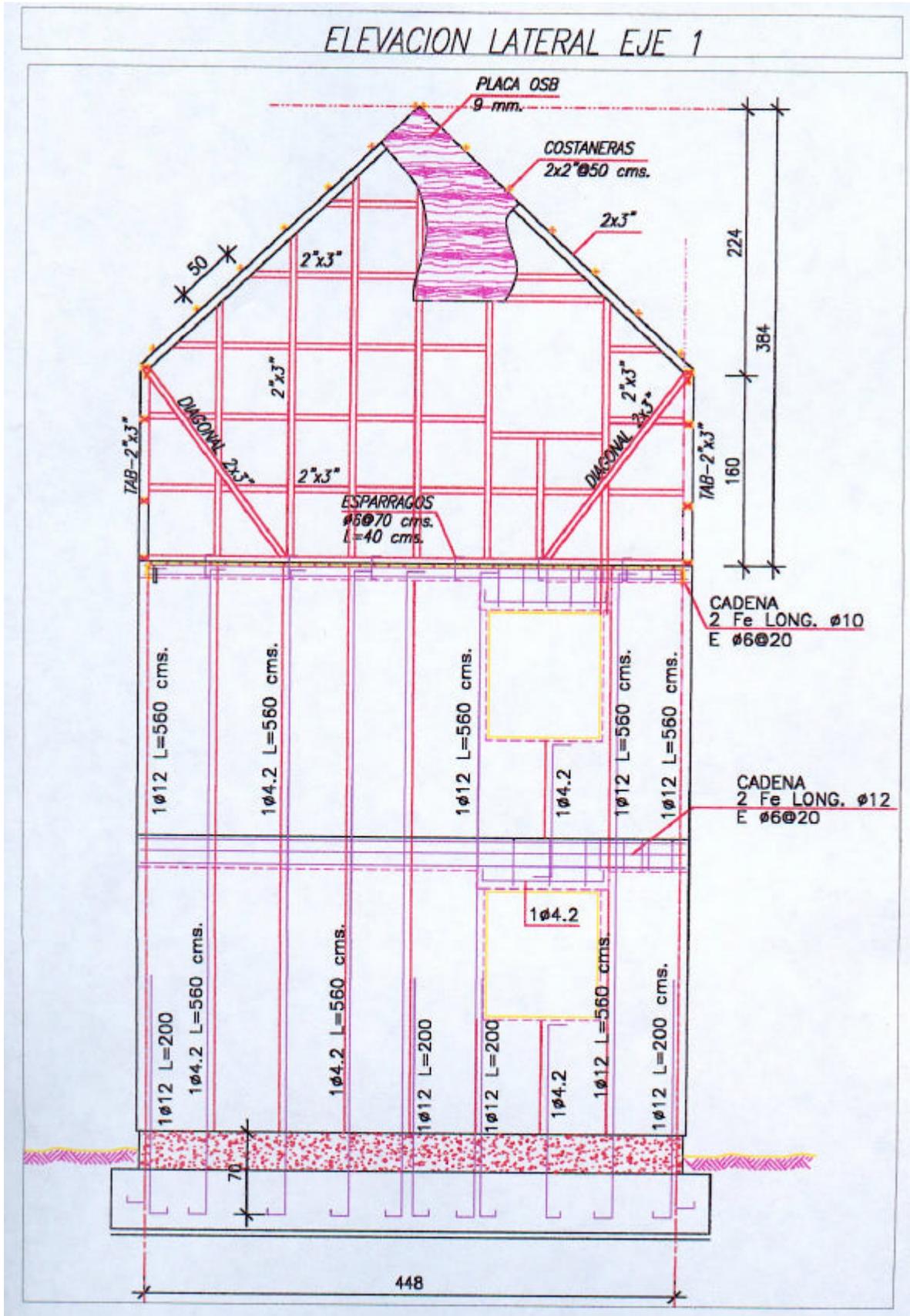
ESCALA 1:20





PLANTA DE TECHUMBRE





BIBLIOGRAFÍA

CURSO LABORATORISTA VIAL/ HORMIGÓN

Autor: Jorge Salgado Aravena y Mario Fernández Rodríguez.

Volumen III

FERROCEMENTO UN DESAFÍO PENDIENTE

Autor: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón

APUNTES TÉCNICOS DEL FERROCEMENTO

Autor: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón

MANUAL PROMOCIONAL DE FERROCEMENTO

Autor: Cementos Bío Bío . Gerencia de Asesoría Técnica.

APUNTES TÉCNICOS

Serviu

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN

Ondac