

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO**

**TESIS**

**Presentada a la Junta Directiva  
de la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala**

**POR:**



**BYRON ESTUARDO RUIZ FAJARDO**

**Al conferírsele el título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Guatemala, Junio de 1,997**

08  
T (3987)  
C.4

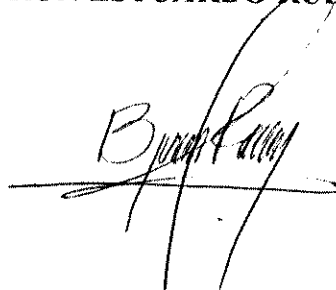
**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

**Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:**

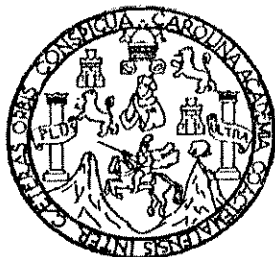
**VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO**

**tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 8 de noviembre de 1,996.**

**BYRON ESTUARDO RUIZ FAJARDO**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Byron Estuardo Ruiz Fajardo', written over a horizontal line.

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

**DECANO:**  
**VOCAL 1ro.**  
**VOCAL 2do.**  
**VOCAL 3ro.**  
**VOCAL 4to.**  
**VOCAL 5to.**  
**SECRETARIO:**

**Ing. Herbert René Miranda Barrios**  
**Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra**  
**Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano**  
**Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez**  
**Br. Víctor Rafael Lobos Aldana**  
**Br. Wagner Gustavo López Cáceres**  
**Ing. Gilda Castellanos de Illescas**

### TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

**DECANO:**  
**EXAMINADOR:**  
**EXAMINADOR:**  
**EXAMINADOR:**  
**SECRETARIO:**

**Ing. Julio Ismael González Podzueck**  
**Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano**  
**Ing. Luis Alfonso Sosa Gonzáles**  
**Ing. Edgar Daniel de León Maldonado**  
**Ing. Francisco Javier González López**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS - MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**



Guatemala, 24 de marzo de 1,997

Ingeniero  
Javier Quiñonez de la Cruz  
Jefe del Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Quiñonez:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis titulado "VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO", realizado por el estudiante universitario Byron Estuardo Ruiz Fajardo, para el cual, el suscrito fue nombrado asesor del mismo.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Ruiz Fajardo, es de especial importancia pues proporciona valiosa información relacionada con la construcción de viviendas prefabricadas en ferrocemento, además de constituirse en una importante documento de consulta tanto para estudiantes como profesionales de la ingeniería civil.

Después de la revisión del mismo considero que se ha cumplido con el proyecto de investigación programado, por lo que de mi parte, queda aprobado el presente trabajo de tesis para su impresión y publicación.

Atentamente,

  
Ing. Jorge Mario Morales G.  
ASESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Unversitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala.  
26 de mayo de 1.997

Ingeniero Jack Douglas Ibarra.  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil.  
Facultad de Ingeniería.

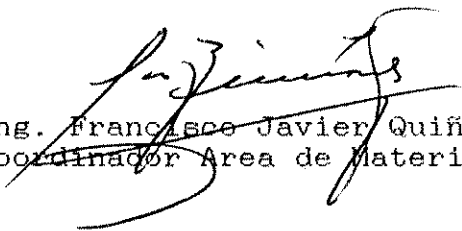
Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis **VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO**, desarrollado por el estudiante universitario **Byron Estuardo Ruiz Fajardo**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Jorge Mario Morales.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fué planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Francisco Javier Quiñónez  
Coordinador Area de Materiales

FJQ/lpc



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Jorge Mario Morales González y del Jefe del Coordinador del Area de Materiales, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, del trabajo de tesis del estudiante Byron Estuardo Ruiz Fajardo, titulado VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, mayo de 1,997.

JDIS/bbdeb.



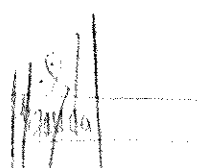
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

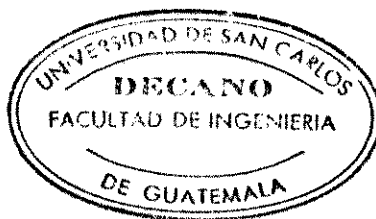
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **VIVIENDAS PREFABRICADAS EN FERROCEMENTO**, del estudiante Byron Estuardo Ruiz Fajardo, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO

Guatemala, junio de 1, 997



/bbdeb.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**MIS PADRES**

**Arturo Ruiz Wong  
Ana Fajardo de Ruiz**

**MIS HERMANOS**

**Ana Carlota Ruiz Fajardo  
Mario Arturo Ruiz**

**MI FAMILIA EN GENERAL**

**MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**



## **AGRADECIMIENTOS**

- A Dios Todopoderoso, por haberme permitido alcanzar esta meta.**
- A mi asesor Ing. Jorge Mario Morales González, por su valiosa colaboración en la elaboración de este trabajo de tesis.**
- Al jefe de Area de Materiales de Construcción, Ing. Javier Quiñonez, por sus aportes que enriquecieron el contenido de este trabajo de tesis.**

## INDICE

Introducción	I
Objetivos	II
Glosario	III
1. Antecedentes	1
2. Marco Teórico	5
2.1 Generalidades de Prefabricación	5
2.2 Definición del Ferrocemento	7
2.2.1. Tendencia del Ferrocemento	8
2.3 Materiales a Utilizar	10
2.3.1. Acero de Refuerzo	10
2.3.2. Tipos de Malla	12
2.3.3. Tipos de Mortero	18
2.3.3.1. Proporción de las Mezclas	19
2.3.3.2. Agregados	19
2.4 Sistema Constructivo	21
2.4.1. Requisitos de Estructura de Diseño	21
2.4.2. Taller de Prefabricación	31
2.4.3. Fabricación IN_SITU	34
2.5 Recomendaciones Constructivas	37
2.5.1. Métodos Constructivos	37
2.5.2. Juntas y Uniones	43
2.5.3. Tratamientos	45
2.5.4. Acabado Final	45
2.6 Normalización	47
2.6.1. Requisitos mínimos para el diseño y construcción	47
3. Sistema Propuesto	50
4. Análisis del Sistema	69
Conclusiones	IV
Recomendaciones	V
Referencias	VI
Bibliografía	VII

## INTRODUCCIÓN

Los problemas socioeconómicos en Guatemala son grandes y tienden a crecer aún más, esto debería de motivar a trabajar a las distintas áreas profesionales para tratar de solventar este problema. El investigar y experimentar con materiales para distintos usos constructivos y de fácil adquisición es la base de este trabajo, para ayudar en cierta forma al deficit de vivienda en Guatemala, en este caso, el ferrocemento, que es un material aplicable a la vivienda como a la construcción de depósitos de agua, silos, techos, etc.

El ferrocemento es un aporte de la ingeniería al proceso de desarrollo de nuestro país. El siguiente trabajo tiene como principal interés mostrar una opción diferente de sistemas prefabricados de vivienda, dicho sistema prefabricado está compuesto por paneles nervurados de ferrocemento, material ya estudiado desde el año 1,940 pero olvidado por la introducción del concreto reforzado.

## OBJETIVOS

- Dar a conocer los aspectos más importantes del ferrocemento, su composición y construcción, sus propiedades físicas y mecánicas, criterios de funcionamiento y ciertas aplicaciones experimentadas tanto en Guatemala como en distintos países.
- Mostrar las características y propiedades del sistema constructivo de paneles de ferrocemento, así como el grado de seguridad de las estructuras construidas con este material.

## Glosario

Para el propósito de este trabajo se han empleado ciertos términos y frases que deberán interpretarse en el sentido aquí descrito.

- Anillos Laterales:** Piezas de madera que sirven para dar forma al panel en sus lados.
- Bafiente:** Pieza de madera que forma parte del anillo lateral y tiene como función crear una ranura lateral en el panel para su anclaje, también incluye la pieza que sirve para formar el agujero que se utiliza para las instalaciones.
- Capa separadora:** Película que forma el aceite quemado sobre el molde de concreto para evitar que el panel de ferrocemento se adhiera a éste después de fundirse.
- Faldones:** Piezas de madera que sirven para dar forma al panel en sus lados cortos.
- Ferrocemento:** Material fabricado con un mortero de arena y un refuerzo metálico construido por mallas metálicas de diferente tipo y barras de acero de diferentes diámetros.
- Lado interno del Panel:** Lado hacia el cual resaltan los nervios rigidizantes, este lado constituirá la parte interior de la vivienda.
- Lado externo del Panel:** Lado liso del panel que formara la parte exterior de la vivienda.
- Nervio rigidizante:** Parte del panel de forma trapezoidal que va reforzada con varillas de hierro en los lados largos y en el lado superior del panel.
- Panel:** Elemento prefabricado que se distingue por su función y localización en la estructura. Está compuesto de una placa central y nervios rígidos

- Placa central:** Parte interna del panel de 2.5 cms. de espesor, reforzada con malla electrosoldada.
- Planta de producción:** Conjunto de instalaciones, equipo y herramienta destinada a la fabricación de paneles de ferrocemento.
- Pilote:** Fundición de concreto simple de forma cúbica, colocada en la intersección de los paneles, por la parte inferior.

## 1. Antecedentes

Es conocido el uso de la cal, yeso y mortero, de cemento natural, su historia se remonta desde el año 3000 A.C. . Las aplicaciones siguientes fueron, generalmente, limitadas a juntas de piedra, block, estuco o recubrimiento. No fue sino hasta el tiempo de los romanos, sin embargo, que el mortero de cemento natural fue ampliamente usado como un material estructural.

En todo el reciente desarrollo, el concreto fue visto como un material que podía ser efectivamente usado sólo en compresión. Aunque el concepto de introducir barras de acero entre concreto fresco en la dirección de la tensión está asociado con la última mitad del siglo XIX, es interesante notar que la construcción de grandes entradas al Acrópolis (437 años A.C.), requirieron luces más amplias que las usuales, requeridas por constructores griegos, Mnesicles usó varillas de hierro cementado dentro de ranuras cortadas en el lado de la tensión de las vigas de mármol; en el siglo XVIII, un francés Suofflot, intentó incrementar la resistencia de la construcción de la mampostería enterrando varillas de hierro en el mortero, en las juntas.

Esta prueba tuvo limitado éxito ya que las varillas de hierro oxidado y la presión de expansión causada por la corrosión, rompieron las juntas. El concepto del refuerzo embebido en concreto fresco para formar lo que ahora se conoce como concreto reforzado, ocurrió casi, simultáneamente por tres personas, Joseph Monier (1823-1906) un jardinero francés que incorporó una malla de acero en macetas en 1849. Wilkinson, un inglés, que fabricó vigas de concreto reforzado para edificios, colocando viejos lazos de minas en el lado de la tensión de las vigas y, finalmente, J.I. Lambot, hizo un bote de concreto en el cual el refuerzo estaba en forma de canasta, utilizando alambres y varillas delgadas intercaladas. En los Estados Unidos, durante la misma época Thaddeus Hyatt

(1886-1901) realizó muchos ensayos de vigas y losas de concreto reforzado, que contribuyeron, grandemente a la racionalización de la teoría del concreto reforzado.

Es sin embargo, el trabajo de Lambot el de más interés, no solamente porque fue una de las primeras aplicaciones del concreto reforzado, sino también, porque fue una forma de ferrocemento; es instructiva la forma de su patente sobre botes reforzados con alambre que fue editada en 1847.

“Mi invención muestra un nuevo producto el cual ayuda a reemplazar la madera donde es atacada por la humedad, como en los pisos de madera, contenedores de agua, macetas, etc. La sustancia nueva consiste de alambres de metal, los cuales son conectados para formar una especie de malla o red flexible. Le doy a esta malla la forma que se parezca en lo posible a los artículos que quiero crear. Luego pongo cemento hidraulico o un bitumen similar o mezcla para llenar juntas”

Esto fue el nacimiento del concreto reforzado, pero, subsecuentemente desarrollado de manera diferente del concepto de Lambot. La tecnología planteada pudo no haberse acomodado a la época y los esfuerzos necesarios para la fabricación de miles de alambres, en lugar de ello, grandes barras fueron usadas para hacer lo que ahora es llamado concreto reforzado, y, el concepto del ferrocemento fue casi olvidado por 100 años.

El concreto reforzado para la construcción de botes reapareció durante la primera guerra mundial, cuando una escasez de planchas de acero obligó a investigar otros materiales para la fabricación de botes. Sin embargo, el uso convencional de varillas de diámetros grandes para reforzar concreto, requirió de cascos muy espesos, haciendo los depósitos menos prácticos para su operación que la madera y el acero.

En el principio de los años 40, Pier Luigini Nervi, renovó el concepto original de ferrocemento, cuando observó que el concreto reforzado con capas de mallas de alambre, produce un material que posee características mecánicas, de un material aproximadamente



homogéneo y capaz de resistir impacto; delgadas losas de concreto reforzado de esta manera demostraron su flexibilidad, elasticidad y resistencia excepcional. Después de la segunda guerra mundial, Nervi, demostró la utilidad del ferrocemento como un material de construcción de botes. Su firma construyó el Irene de 165 toneladas, con un casco de ferrocemento de 1.4 pulgadas (36 mm.) de espesor.

El ferrocemento ganó amplia aceptación tan sólo recientemente en los años sesenta en el Reino Unido, Nueva Zelanda y Australia. En 1965 un constructor americano construyó un yate de ferrocemento en Nueva Zelanda, el Awahnee de 53 pies (16 metros) que le dio la vuelta al mundo dos veces, sin problemas serios, a pesar de haber tenido muchos accidentes.

El énfasis sobre el ferrocemento como un material de construcción de barcos durante los sesenta, ha limitado notablemente las aplicaciones de Nervi a la construcción. En 1947 construyó una pequeña bodega, más tarde techó la piscina de la Academia Naval Italiana con un domo de 50 pies (15 metros) de diámetro y la famosa Sala de Exhibiciones de Turín, un sistema de techo de luces de 300 pies (91 metros), en ambos casos el ferrocemento sirvió como formaleta permanente para el sistema estructural.

La disponibilidad universal de los componentes básicos del ferrocemento, mallas de acero y concreto, crean interés en la aplicación potencial de este material en los países en desarrollo desde la construcción de techos y paredes de viviendas de bajo costo hasta en almacenaje de granos y canales de irrigación. En 1972 la Academia Nacional de Ciencias a través de su Oficina de Ciencia y Tecnología para el desarrollo internacional, estableció el panel Ad Hoc sobre la utilización del ferrocemento en países en desarrollo. El reporte del panel estimuló grandemente el interés de aplicaciones no marinas de este material versátil. Durante el final de los sesenta y principio de los setenta, la comunidad científica y técnica encontró en el ferrocemento un campo fértil de investigación. Un cierto número de

artículos empezó a aparecer en la literatura y la especulación acerca del uso del ferrocemento como un material estructural, aumentó.

Un importante avance fue la fundación del Centro Internacional de información del Ferrocemento, en el Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok, Tailandia en octubre de 1976.

En colaboración con la Asociación Marina de Ferrocemento de Nueva Zelanda, el Centro Internacional de Bangkok, publica una revista trimestral "La revista del Ferrocemento". Otra revista, la "Revista Internacional de Componentes de Cemento", a menudo contiene artículos relacionados con el ferrocemento.

El Comité 549 de la ACI (American Concrete Institute), Ferrocemento, fue organizado en 1974 y le fue dada la misión de estudiar y reportar las propiedades ingenieriles, prácticas de construcción, aplicaciones y desarrollar los lineamientos para la construcción en ferrocemento.

A pesar del gran potencial que tiene el ferrocemento para países industrializados y en vías de desarrollo, muchas investigaciones se necesitan para que sea aceptado como un material de construcción, particularmente, respecto de las restricciones de muchos códigos, tales como los requisitos de recubrimiento del refuerzo para la protección contra el fuego.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Generalidades de Prefabricación

### 2.2 Definición de Ferrocemento

#### 2.1 Generalidades de Prefabricación

La naturaleza esencial del ferrocemento, consiste en la malla de refuerzo continuo, impregnada y cubierta con un mortero de cemento portland. El proceso de fabricación incluye una amplia variedad de formas encaminadas a lograr un fin común. La determinación de la mayoría de las técnicas apropiadas de fabricación, dependen de la aplicación deseada, la destreza de la mano de obra y su costo.

Básicamente el proceso constructivo comprende la colocación de la malla de refuerzo ya sea en una capa o en varias capas. La colocación de las barras que forma la armadura rigidizante y en el caso de la aplicación del mortero existen diferentes formas. Dentro de éstas, está la aplicación del mortero a mano, ya sea de un lado contra una formaleta o de ambos lados usando un mortero consistente que no se deslice evitando así el uso de formaleta. Durante este procedimiento debe tenerse mucho cuidado para estar seguro de la penetración del mortero y la eliminación de vacíos significativos dentro del espesor del elemento. Cuando sea posible pueden ser adaptados vibradores manuales para causar mayor movilidad al mortero, aditivos minerales y químicos son también usados para esta función. En el caso de aplicar el mortero utilizando formaleta, ésta puede ser hecha de madera, plywood, materiales rígidos, fibra de vidrio, concreto reforzado, el mismo ferrocemento y aún la tierra compactada. Estas formaletas pueden ser hechas de tal forma que permitan su utilización varias veces.

En el caso de aplicar el mortero de ambos lados, se debe hacer una especie de armadura rigidizante, utilizando barras de refuerzo No. 2 ó No. 3 y luego debe atarse la malla a ambos lados de la armadura, esta armadura compuesta de barras y malla es entonces cubierta con mortero de ambos lados. Como una alternativa de la aplicación del mortero a mano, éste puede ser lanzado en forma mecánica. Sin embargo, algún trabajo manual será necesario para asegurar la completa penetración y proveer una adecuada superficie terminada. En el caso de forzar la malla dentro del mortero plástico, comúnmente llamado, como una técnica de laminado, hay también dos procedimientos primarios de fabricación: la aplicación del mortero a mano y lanzado. En ambos casos una capa inicial de mortero es aplicada al molde nominalmente menos que 1/16 a 1/8 de pulgada (1-3 mm.) de espesor y a esta capa debe dársele cierta consistencia inicial. Esta capa puede ser de un tipo de mortero especial, para impartir alguna característica especial deseada en el producto terminado. Sin embargo, el propósito fundamental de la capa inicial de mortero es asegurar un recubrimiento apropiado y la penetración de la malla. Después de esta capa inicial, una segunda capa de mortero fresco es aplicada ya sea a mano o lanzada, de suficiente espesor para que soporte una o dos capas de malla de refuerzo, las cuales subsecuentemente son colocadas dentro del mortero, un rodillo similar a un rodillo de pintura, pero con superficie rugosa, es usado para forzar que las capas de la cama de refuerzo penetren en el mortero. Por consiguiente un ajuste muy cuidadoso de la consistencia de la mezcla es requerido para ayudar a la penetración de la malla, especialmente para superficies verticales. El proceso de poner capas es continuo, hasta alcanzar el espesor deseado del elemento. Los métodos de fabricación discutidos son de intensa labor, variando los grados y la calidad del producto resultante, dependiendo grandemente de la habilidad de la mano de obra utilizada. La experiencia lo ha demostrado, sin embargo, que para todos los procedimientos discutidos, el nivel de

habilidad requerida puede ser rápidamente dominada y que se puedan alcanzar excelentes resultados si se provee y se mantiene una adecuada y apropiada supervisión. Muchos procedimientos de alta tecnología han sido sugeridos, éstos incluyen diseños de maquinas empacadoras y vaciado a vueltas para la fabricación de conductos o tubos y el rociado para la producción de paneles delgados y láminas. Estos y otros procedimientos de alta tecnología en producción, están en espera del tiempo cuando el material "ferrocemento" y los diseños de sistemas lleguen a ser económicos y funcionalmente competitivos con el desarrollo del mundo.

## 2.2 Definición de Ferrocemento

Ferrocemento es un término usado para describir una forma de concreto reforzado, básicamente por la manera en la cual el refuerzo está disperso y colocado. La colocación del refuerzo es tal, que se forma un material compuesto, el cual exhibe un comportamiento suficientemente diferente del concreto reforzado convencional, en resistencia, deformación y aplicaciones potenciales, de tal forma que es clasificado como un material diferente. Difiere del concreto reforzado convencional en que su refuerzo consiste de espaciamentos muy pequeños y de múltiples capas de malla impregnadas por completo con un mortero de cemento. Con este material pueden hacerse paneles delgados o secciones de menos de 1 pulgada (25 mm.) de espesor, con una delgada capa de mortero que proporciona un recubrimiento a las mallas de refuerzo. El concreto convencional, generalmente, es moldeado en secciones de varias pulgadas de espesor; usualmente, con el uso de formaletas, y, con el refuerzo doblado en la posición rígida requerida; el refuerzo del ferrocemento puede ser colocado en la forma deseada y repellido (cubierto) en el mismo lugar, directamente.

El término ferrocemento implica estrictamente, la combinación de un producto ferroso con cemento. Generalmente esta combinación toma la forma de múltiples capas de mallas de acero cubiertas de un mortero de cemento portland ordinario. Pero aún hay características del ferrocemento que pueden alcanzarse con refuerzos diferentes a las mallas de acero, por ejemplo, el antiguo y universal método de construir chozas o estructuras usando cañas para reforzar lodo, pudieran considerarse un presagio del ferrocemento. El uso de mallas no metálicas está siendo explorado en muchas universidades, esto incluye mallas de vidrio resistente, mallas tejidas de origen orgánico, como ejemplo de las anteriores malla se puede mencionar las de polipropileno y las hechas de yute, cáñamo o fibra de bambú. Así, el término ferrocemento implica el uso acero y otros materiales de refuerzo. La siguiente definición fue adoptada por el comité 549 de la ACI. "Ferrocemento es un tipo de pared delgada de concreto reforzado, comúnmente construido de cemento hidráulico reforzado con capas con espaciamientos pequeños de mallas de alambres continuos y de, relativamente, pequeño diámetro. La malla puede ser hecha de metal o de otros materiales adecuados".

Esta definición es relativamente amplia, ello implica que a la vez de considerar al ferrocemento como una forma de concreto reforzado, es también un material compuesto.

### 2.2.1 Tendencia del Ferrocemento

El amplio uso de la construcción con ferrocemento ha ocurrido durante los últimos veinte años, pero el avance en la aplicación de este nuevo material de construcción está todavía en su infancia en los Estados Unidos. Suficiente experiencia no ha sido acumulada y analizada para el éxito de las estructuras ya construidas. Las principales aplicaciones en

las construcción con ferrocemento a la fecha han sido para silos, tanques, techos y la mayoría en barcos.

La construcción en ferrocemento puede ser dividida en cuatro fases:

1. Fabricación de un sistema de soporte.
2. Colocación de las varillas y las mallas de refuerzo al sistema de soporte.
3. Aplicación del mortero.
4. Curado.

Hay que observar que, relativamente, un bajo nivel técnico es requerido para las fases 1 & 3, mientras que en la fase 2, es una labor intensiva, lo cual es una desventaja para los países industrializados, pero, una ventaja para los países donde la mano de obra es abundante. En los países desarrollados la mano de obra es cara, el concreto lanzado a presión o técnicas de laminado similares a los desarrollados para estructuras marinas, pueden reducir el costo de la mano de obra. La experiencia ha demostrado que la calidad del mortero y su aplicación a la malla de refuerzo son las fases más críticas. El mortero puede ser aplicado a mano o por lanzamiento a presión. Ya que no se requiere formaleta como en la construcción con concreto reforzado convencional; el ferrocemento es especialmente conveniente para estructuras con superficies curvas, tales como domos y formas libres. En algunos casos su uso como una formaleta permanente para una estructura de concreto reforzado, puede ser justificable económicamente. Dos estudios recientes de factibilidad realizados en los Estados Unidos, han mostrado que los costos del ferrocemento son menores que los que el acero o los de fibra de vidrio, en la construcción de depósitos de almacenamiento de agua caliente. Se cree que el desarrollo de nuevos sistemas de mallas de refuerzo y técnicas de producción más eficientes harán competente al ferrocemento en un campo más amplio de aplicación, donde se requieren elementos estructurales delgados.

## 2.3 Materiales a utilizar

Un panel del ferrocemento, es usualmente una sección delgada, que consta de capas de malla de alambre impregnado con una mezcla muy rica (proporción alta de cemento-arena) de mortero de cemento y curado durante un período específico de tiempo. Una descripción breve de los materiales usados por el ferrocemento se presenta a continuación.

### 2.3.1 Acero de Refuerzo \*

El acero de Refuerzo, como su nombre lo indica, se usa generalmente para la fabricación de la estructura que sirve para sostener las capas de malla. Ambas barras de refuerzo, la longitudinal y la transversal deben estar justamente distribuidas con el fin de dar la forma exacta. Se puede espaciar las barras tan ampliamente como sea posible, puede llegar incluso hasta 12 plg. (30 cm.) de separación, donde no funcione como un refuerzo estructural y se considera frecuentemente como barras que cumplen la función de sostener la malla. En algunos casos se espacia el acero de refuerzo cerca de 3 plg. (7.5 cm.) centro-a-centro así cumple la función principal de reforzar, y a la vez ser componente con malla de alambre en estructuras tales como, barcazas, barcos, secciones tubulares, etc.

Las áreas de las barras de acero del género utilizado en la construcción, difiere del utilizado en la fabricación de el ferrocemento. Su fuerza, superficie, área, revestimiento para su protección y tamaño, afecta su función para reforzar miembros compuestos. En general, se utilizan barras de acero moderadas para ambos refuerzos, en la dirección longitudinal y la transversal. En algunos casos son utilizadas barras de alta resistencia a la

\* Referencia No.2



tensión y alambres pretensados. Los tamaños de las barras o varillas, varían desde 0.165 plg<sup>2</sup>. (4.20 mm<sup>2</sup>.) a 3/ 8 plg<sup>2</sup>. (9.5 mm<sup>2</sup>.) considerando que 1/ 4 plg<sup>2</sup>. (6.25 mm<sup>2</sup>.) es el más común. Los paneles de ferrocemento que tienen barras de refuerzo longitudinal y transversal, en la mayoría de los casos tienen aproximadamente una pulgada de espesor. Se pueden usar en compañía de las barras de refuerzo transversales o longitudinales otras de menor diámetro, no necesariamente debe de ser un armado del mismo diámetro en una misma dirección.

El refuerzo para el ferrocemento es comúnmente en forma de capas de mallas fabricadas de una unión de filamentos individuales. Los tipos específicos de malla incluyen mallas entrelazadas o entretejidas, mallas en las cuales los filamentos están entretejidos y sus intersecciones no son rígidamente conectadas, las mallas soldadas son un modelo rectangular formado por alambres perpendiculares soldados en las juntas de intersección y las mallas entrelazadas, las cuales pueden incluir elementos diagonales entrelazados en el modelo rectangular. Dos formas más de refuerzos de metal que también se usan, son las mallas de metal expandido formadas por aberturas que están formadas por alambres delgados, otra forma de refuerzo consiste en alambres continuos con alguna irregularidad, armados en dos dimensiones en forma de colchoncillo. Esta forma particular de refuerzo es obtenida usando fibras de naturaleza orgánica y fibra de vidrio. Es frecuente establecer en países en desarrollo el uso de materiales naturales del lugar. Hay una gran variedad de mallas clasificadas por su tamaño y propiedades del material usado en su elaboración, algunas mallas pueden galvanizarse, revestirse o impregnarse con Zinc, antes o durante la fabricación de la misma. Las propiedades resultantes del ferrocemento son productos de los alambres, tamaño o ancho de las mallas, refuerzo rigidizante, fabricación, ductilidad y tratamientos.

### 2.3.2 Tipos de Malla \*

Uno de los componentes esenciales del ferrocemento es la malla del alambre. Los diferentes tipos de mallas de alambre están disponibles casi en todas partes. La función de la malla del alambre y las barra de refuerzo es proveer la forma y el apoyo al mortero en su estado fluido. En el estado endurecido de la mezcla su función es absorber las fuerzas de tensión de la estructura, el mortero en si mismo, no podría resistir. Cuando se somete una estructura a una fuerza de torsión o flexión durante su tiempo de vida, da por resultado grietas y fracturas, a menos que se introduzca refuerzo de acero suficiente para absorber estas fuerzas. El grado de fracturación de la estructura se reduce debido al refuerzo intercalado y depende de la concentración y dimensiones de dicho refuerzo intercalado. El comportamiento mecánico del ferrocemento es muy dependiente del tipo, cantidad, calidad, orientación y propiedades de la malla y del refuerzo de las barras de acero.

#### Malla de Alambre Hexagonal

Esta es la más popular y normalmente usada de las mallas, disponible en la mayoría de países. Se sabe que es la más barata y la más fácil de manejar. Normalmente se conoce como malla de alambre de gallinero, se fabrica generalmente de alambre que se teje dentro de modelos hexagonales. La malla de alambre usada en el ferrocemento está usualmente dentro de el rango de 1/ 48 plg. a 1/24 plg. (0.5mm a 1.00mm) de separación. La malla de alambre puede ser tejida en el sitio, del diámetro adecuado e incluso hacer los rollos apropiados para cualquier trabajo dado.

---

\* Referencia No.2

## Malla de Alambre Soldada

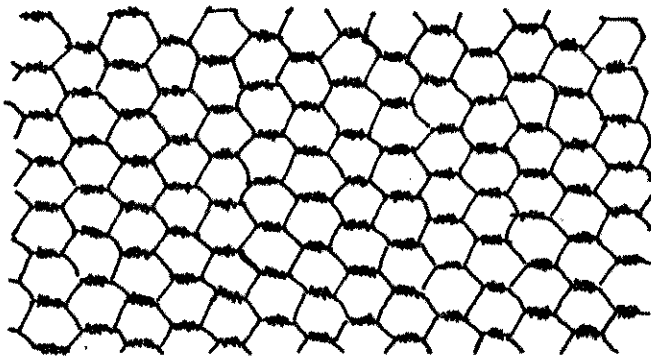
Entre dieciocho a diecinueve alambres, es el número que normalmente se usa en este tipo de malla con una separación de media pulgada. Estos alambres se hacen de baja resistencia a la fuerza de tensión promedio, pero es más resistente que malla del alambre hexagonal. Algunos constructores prefieren este tipo de malla porque se puede amoldar más fácilmente y conformar con ella, las curvas deseadas de la estructura, además produce superficies curvas más definidas. Desafortunadamente, la malla de alambre soldado tiene la probabilidad de tener puntos débiles en las intersecciones, que pueden ser el resultado de una inadecuada soldadura durante la fabricación de la malla. Esta deficiencia puede imponer limitaciones serias aún cuando se usa un alambre de acero de la más alta resistencia para mejorarla.

## Malla Tejida

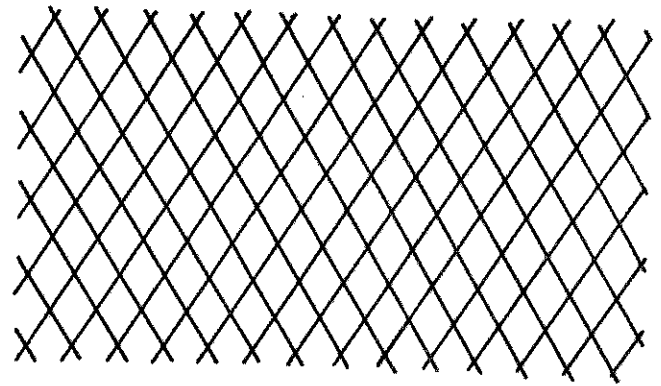
En este tipo de malla, se tejen los alambres simplemente en los tamaños deseados de la rejilla y no tiene ninguna soldadura en las intersección. Los alambres de la malla no están perfectamente rectos y debe existir una cantidad segura de secciones tejidas. De cualquier modo, este tipo de malla ejecuta su función satisfactoriamente mejor que la malla de red hexagonal y también es mejor en algunos casos que la malla soldada. Uno de las dificultades encontradas en este tipo de malla se encuentra en su levantado o colocado en la posición precisa, una vez estirada la malla prontamente se acomoda a las curvas deseadas.

## Malla de Metal Extendido

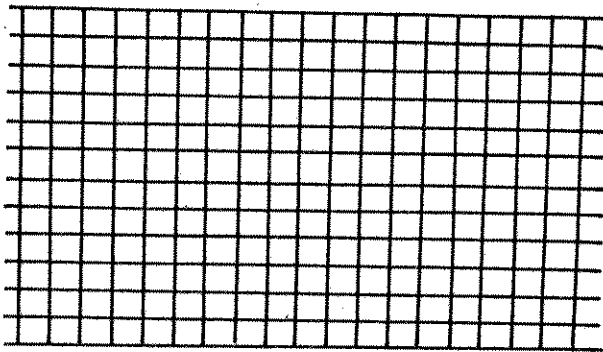
Este es otro tipo de malla que a veces es usado en la construcción del ferrocemento conocida con su mismo nombre. Se forma cortando una lámina delgada, y se extiende el metal para poder cortar las aberturas en forma de diamante. El proceso industrial consta de menor labor que el método usado para fabricar la malla de alambre hexagonal o malla soldada.



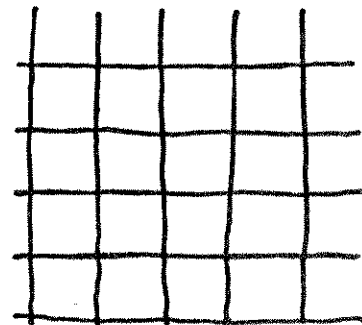
MALLA HEXAGONAL



MALLA DE METAL EXTENDIDO



MALLA SOLDADA



MALLA TEJIDA

TIPOS DE MALLAS	CARACTERÍSTICAS	
1 Tela de Gallinero Hexagonal (grande) 26 x 39 mm	Área del alambre Carga máxima promedio Área resistente Esfuerzo máximo promedio	0.5mm <sup>2</sup> 48.3kg 3.0mm <sup>2</sup> 1611.1kg/cm <sup>2</sup>
2 Tela de Gallinero hexagonal (pequeña) 19 x 14.3 mm diámetro 0.8 mm	Área del alambre Carga máxima promedio (long.) Carga máxima promedio (trans.) Área resistente (long.) Área resistente (trans.) Esfuerzo máximo promedio (long.) Esfuerzo máx. promedio (trans.)	0.5mm <sup>2</sup> 114.0kg 35.0kg 5.5mm <sup>2</sup> 3.0mm <sup>2</sup> 2072.7kg/cm <sup>2</sup> 1166.7kg/cm <sup>2</sup>
3 Malla entrelazada cuadrada (grande) 13 +13 mm diámetro 1.2 mm	Área del alambre Carga máxima promedio Área resistente Esfuerzo máximo promedio	1.1mm <sup>2</sup> 256.7kg 7.9mm <sup>2</sup> 3241.9kg/cm <sup>2</sup>
4 Malla entrelaza cuadrada (pequeña) 6.3 x 6.3 mm diámetro 0.7 mm	Área del alambre Carga máxima promedio Área resistente Esfuerzo máximo promedio	0.4mm <sup>2</sup> 114.3kg 5.0mm <sup>2</sup> 2286.6kg/cm <sup>2</sup>
5 Tela tipo plafón romboidal 600 gr./m. 10 x 20 mm diámetros 0.5 x 1.0 mm	Área del alambre Carga máxima promedio (long.) Carga máxima promedio (trans.) Área resistente (long.) Área resistente (trans.)	0.5mm <sup>2</sup> 91.7kg 12.5kg 7.0mm <sup>2</sup> 2.5mm <sup>2</sup>

\* Referencia No.1

	Esfuerzo máximo promedio (long.)	1309.5kg/cm <sup>2</sup>
	Esfuerzo máx. promedio (trans.)	500.0kg/cm <sup>2</sup>
6	Área del alambre	0.6mm <sup>2</sup>
Tela tipo plafón romboidal	Carga máxima promedio	96.7kg
700 gr./m. 10 x 21 mm	Área resistente	7.7mm <sup>2</sup>
diámetros 0.5 x 1.1 mm	Esfuerzo máximo promedio	1255.4kg/cm <sup>2</sup>
7	Área del alambre	0.6mm <sup>2</sup>
Tela tipo plafón romboidal	Carga máxima promedio	117.7kg
800 gr./m. 10 x 22 mm	Área resistente	8.4mm <sup>2</sup>
diámetros 0.5 x 1.2 mm	Esfuerzo máximo promedio	1400.8kg/cm <sup>2</sup>
8	Área del alambre	0.5mm <sup>2</sup>
Tela tipo plafón romboidal	Carga máxima promedio (long.)	91.7kg
1000 gr./m. 10 x 25 mm	Carga máxima promedio (trans.)	12.5kg
diámetros 0.5 x 1.5 mm	Área resistente (long.)	7.0mm <sup>2</sup>
	Área resistente (trans.)	2.5mm <sup>2</sup>
	Esfuerzo máximo promedio (long.)	1309.5kg/cm <sup>2</sup>
9	Área del alambre	0.3mm <sup>2</sup>
Tela de Gallinero hexagonal	Carga máxima promedio	70.0kg
(mediana) 22 / 27 mm	Área resistente	2.3mm <sup>2</sup>
diámetro 0.6 mm	Esfuerzo máximo promedio	2994.0kg/cm <sup>2</sup>
10	Área del alambre	0.5mm <sup>2</sup>
Malla entrelaza cuadrada	Carga máxima promedio	215.0kg
(mediana) 8 x 8 mm	Área resistente	6.2mm <sup>2</sup>
diámetro 0.8 mm	Esfuerzo máximo promedio	3455.9kg/cm <sup>2</sup>

11	Área del alambre	0.3mm <sup>2</sup>
Malla entrelaza cuadrada	Carga máxima promedio	93.3kg
4.3 x 4.3 mm	Área resistente	3.9mm <sup>2</sup>
diámetro 0.6 mm	Esfuerzo máximo promedio	2484.1kg/cm <sup>2</sup>
12	Área del alambre	0.3mm <sup>2</sup>
Malla entrelaza cuadrada	Carga máxima promedio	82.9kg
4.1 x 4.1 mm	Área resistente	4.2mm <sup>2</sup>
diámetro 0.6 mm	Esfuerzo máximo promedio	1954.7kg/cm <sup>2</sup>
13	Área del alambre	0.2mm <sup>2</sup>
Malla entrelaza cuadrada	Carga máxima promedio	76.1kg
3.8 x 3.8 mm	Área resistente	4.3mm <sup>2</sup>
diámetro 0.5 mm	Esfuerzo máximo promedio	1782.7kg/cm <sup>2</sup>
14	Área del alambre	0.3mm <sup>2</sup>
Malla entrelaza cuadrada	Carga máxima promedio	52.9kg
2.8 x 2.8 mm	Área resistente	4.7mm <sup>2</sup>
diámetro 0.5 mm	Esfuerzo máximo promedio	1123.5kg/cm <sup>2</sup>
15	Área del alambre	0.03mm <sup>2</sup>
Tela de mosquitero	Carga máxima promedio	24.1kg
1.8 x 1.8 mm	Área resistente	1.1mm <sup>2</sup>
diámetro 0.2 mm	Esfuerzo máximo promedio	2130.1kg/cm <sup>2</sup>
16	Área del alambre	1.0mm <sup>2</sup> .
Tela de metal desplegado	Carga máxima promedio	170.3kg
(galvanizado)	Área resistente	22.0mm <sup>2</sup> .
10 x 5 mm.	Esfuerzo máximo promedio	774.23kg/cm <sup>2</sup> .
diámetro 0.5 x 2.0 mm.		

### 2.3.3 Tipos de Morteros

El mortero que se usa en el ferrocemento, está formado por un cemento hidráulico y un material inerte. El cemento portland es, generalmente, usado algunas veces mezclado con puzolanas. El agregado es, usualmente, una arena bien graduada, capaz de pasar el tamiz # 8. Sin embargo, dependiendo de las características del material de refuerzo (abertura de malla, distribución de esfuerzos, etc.) puede ser utilizado un mortero que contenga grava de pequeño tamaño.

Como todos los cementos hidráulicos, las propiedades físicas y la microestructura del mortero dependen de la composición química del cemento, la naturaleza de la arena, la relación agua-cemento y las buenas condiciones del curado de los productos finales. Ya que el mortero representa el 95%, aproximadamente, del volumen del ferrocemento. Sus propiedades tienen una gran influencia en las propiedades finales del producto. Hay numerosas referencias que describen en detalle los efectos de varios parámetros en las proporciones de la mezcla, las propiedades y microestructura del mortero de cemento hidráulico.

El uso de cemento portland en el ferrocemento produce una composición donde el mortero se considera que tiene alguna resistencia a la tensión. Parece que la acción entre el mortero y el refuerzo es más pronunciada en el ferrocemento que en el concreto reforzado ordinario. El uso de fibras en el mortero da como resultado, gran efecto en las propiedades de tensión. Pero la definición de ferrocemento elimina las fibras como un componente de refuerzo. Sin embargo, la adición de fibras da efectos favorables en el control del agrietamiento y de la capacidad del mortero a resistir cargas de tensión, la adición de fibras relativamente cortas y delgadas ( $l / d = 100$ ) distribuidas arbitrariamente a morteros de cemento hidráulico puede ser efectivo en la producción de ferrocemento, los efectos son la



disminución de la tensión y el mejoramiento de la resistencia a corte, de tal manera que influye en el diseño y las propiedades finales del producto de ferrocemento.

La reacción del cemento portland con el agua da como resultado la formación del endurecimiento de la pasta de cemento. El agua debe de ser potable y libre de componentes orgánicos; la relación agua-cemento en la producción del ferrocemento varía entre 0.35 y 0.55 por peso.

#### 2.3.3.1 Proporciones de las Mezclas.

Las proporciones del mortero para ferrocemento son:

Arena - Cemento relación por peso 1.5 a 2.5.

Agua - Cemento relación por peso 0.35 a 0.5.

El máximo tamaño de las partículas de arena depende de las aberturas de las mallas de refuerzo, asegurando la penetración de las mismas en el sistema de refuerzo, la arena que pasa el tamiz No. 16 ha dado resultados satisfactorios en muchas aplicaciones prácticas.

#### 2.3.3.2 Agregados

Agregado es el término dado al material inerte disperso a través de la pasta de cemento. Este material inerte ocupa aproximadamente 60 a 70 por ciento del volumen del mortero. Por lo tanto, se utilizan agregados de alta calidad para la producción del mortero, para las estructuras de ferrocemento dicho mortero debe ser fuerte,

impermeable y capaz de producir una mezcla suficientemente trabajable y con la mínima relación de agua / cemento conseguir la penetración apropiada en la malla. El agregado normalmente usado está compuesto de arena natural pudiendo tener un mezcla de muchos tipos de material tales como la Sicilia, piedra del basalto, etc. Debe existir precaución en la selección de tales arenas, porque se puede afectar al mortero con arenas muy blandas, provocando serias abrasiones y reacciones químicas. Se debe de tener sumo cuidado de no seleccionar material poroso el cual dejará que la humedad penetre dentro de los delgados paneles y que esto llegue a afectar su durabilidad y la función estructural de los mismos.

Es importante que la graduación de las partículas de la arena, en lo posible, coincidan con las norma dadas por la ASTM, (American Standard of Testing of Materials) en la especificación C33-74a para agregados de concretos. En la parte de fuerza de compresión, ésta depende primariamente de las características del mortero, considerando que el mismo puede tener tipos variantes de arena.

## 2.4 Sistema Constructivo

### 2.4.1 Requisitos Estructurales de diseño \*

Muchas de las propiedades particulares del ferrocemento derivan del hecho que por definición éste contiene, relativamente, gran cantidad de refuerzo, hecho de pequeños elementos con un área mucho más alta que el refuerzo convencional. En las palabras de NERVI quien primero usó el término ferrocemento, su característica más notable es: "Mayor elasticidad y resistencia a la agrietamiento del mortero de cemento por la extrema subdivisión y distribución del refuerzo". El reconocimiento de parámetros que definen la distribución del refuerzo es fundamental para comprender muchas de las propiedades del ferrocemento. Dos de tales parámetros, son la superficie específica y el volumen de la fracción del refuerzo. El volumen de fracción de refuerzo es el volumen de refuerzo por unidad de volumen de ferrocemento y la superficie específica es el área de la superficie adherida de refuerzo por unidad de volumen del compuesto. Valores típicos de estos parámetros son, a menudo, encontrados en la literatura técnica que caracterizan al ferrocemento. Valores típicos de estos parámetros son: un refuerzo concentrado de al menos 25 - 31 libras/pie<sup>3</sup> (400 - 500 kg./m<sup>3</sup>) (un volumen de la fracción de 5.1 - 6.3 por ciento), un promedio de espacio entre elementos de refuerzo de 0.2 pulgadas (5 mm.) o 0.4 pulgadas (10 mm.) y una superficie específica de al menos 5.1 pulgadas<sup>2</sup> (0.2 mm<sup>2</sup>).

Desafortunadamente, debido a la generalidad de la definición sobre el ferrocemento dada anteriormente, la falta de datos apropiados impide una buena comparación de las propiedades de varias formas de ferrocemento, excepto aquellas que usan refuerzo de alambre de acero.

\* Referencia No.2

## Resistencia Última a la Tensión

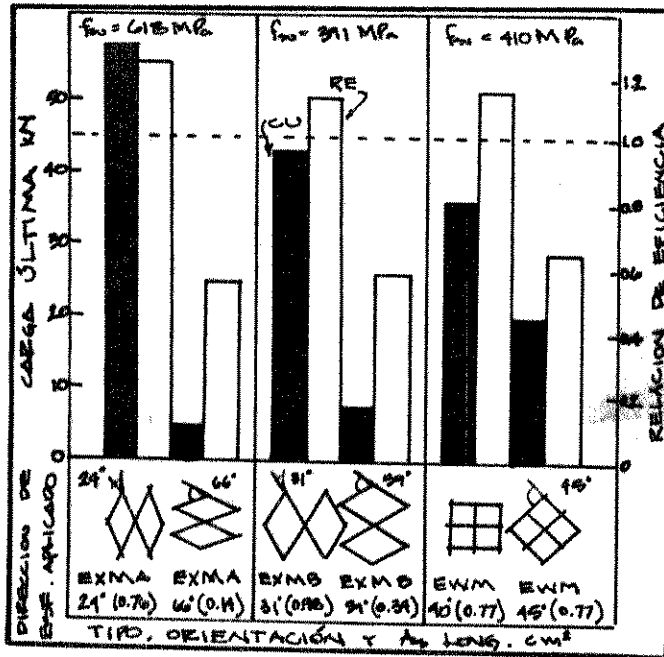
En tensión la capacidad de carga es esencialmente independiente del espesor del elemento, porque el mortero se agrieta mucho antes de la falla y no contribuye directamente al esfuerzo. El comportamiento del material es a menudo expresado en términos de carga y no en términos de esfuerzo. Generalmente, la resistencia de la tensión del ferrocemento usando malla de metal expandido, malla soldada o malla entrelazada en sus orientaciones normales corresponde muy cercanamente a la capacidad de carga a tensión de los elementos de refuerzo.

La resistencia correspondiente a la tensión (esfuerzo) es igual a la capacidad de carga dividida por la sección transversal de ferrocemento. Hay notables excepciones que ocurren cuando la malla soldada está orientada 45 grados respecto a la carga aplicada o cuando la malla de metal expandida es usada en la posición que los agujeros en forma de diamante son más largos y perpendiculares al esfuerzo aplicado, por algunos experimentos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ha demostrado que para malla soldada de 0.5 pulgadas (13 mm.), la resistencia última para una orientación de 45 grados es un 50 - 60 por ciento de lo que sería para la orientación normal, mientras que para dos clases de mallas de metal extendido perpendicular a la orientación normal es solamente 15 - 35 por ciento, de lo que es para la orientación normal. La malla hexagonal (malla de gallinero) ha sido también mostrada para darle características anisotrópicas en tensiones, observando la más alta resistencia, cuando la dirección de los alambres entrelazados están paralelos al esfuerzo aplicado.

Esto da una verdadera indicación de la efectividad de varios refuerzos, en diferentes orientaciones (fig 2.4.1 a) y demuestra que las diferencias observadas en las resistencias

están bastante asociadas con la orientación de las capas de refuerzo, no sólo con diferencias en el área transversal efectiva del refuerzo.

En general la elección óptima de refuerzo para el ferrocemento en tensión depende si la carga es esencialmente uniaxial o significativamente biaxial.



\* FIG. 2.4.1a INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN DEL REFUERZO EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A TENSIÓN Y LA RELACIÓN DE EFICIENCIA PARA DOS TIPOS DE MALLA A B B.  
EXM MALLA DE METAL EXPANDIDO  
EWM MALLA SOLDADA

Resistencia Última Compresiva \*

En esta forma de tensión diferente, el mortero contribuye directamente con la resistencia del ferrocemento en proporción del área de la sección transversal, así cantidad de refuerzo y resistencias son mejor definidos en términos de fracción de volumen de los refuerzos. Obviamente, la resistencia del mortero depende de su relación agua-cemento, al igual que el concreto convencional reforzado, el tipo, la orientación y la forma de colocación del refuerzo son también importantes, por ejemplo columnas periféricas sólidas y vacías (identificadas como muestra la fig. 2.4.1 b porque son formadas con la ayuda de

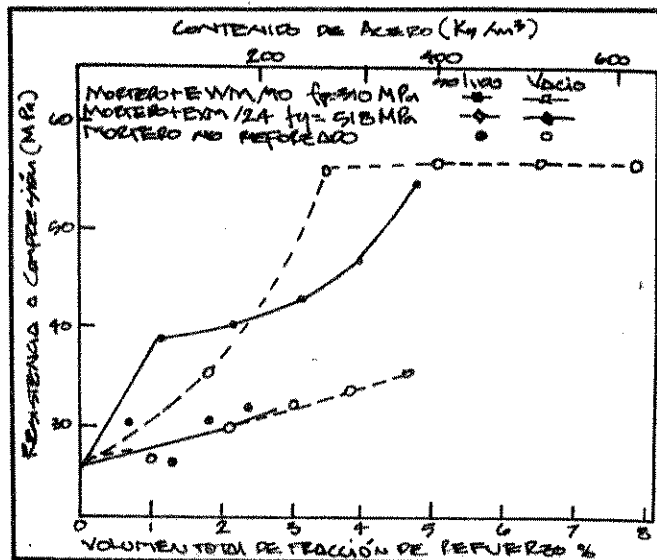
\* Referencia No.2

un poliestireno de núcleo blando). las reforzadas con malla soldada son más resistentes que las mismas reforzadas con malla de metal extendido.

Esto es atribuido a los alambres laterales en la malla actuando de manera similar al refuerzo convencional helicoidal, restringiendo entonces el mortero, mientras que la malla de metal expandido sufre una acción de tijereta, aparentemente visualizada en la forma de falla que impide la efectiva restricción triaxial y hace al ferrocemento un poco más fuerte que el mortero no reforzado; el cambio drástico de la pendiente en la parte alta de las dos curvas es atribuido al rendimiento general del sistema de malla como se observa por incremento sustancial en la relación de poisson.

Cuando el refuerzo de la malla es colocado paralelo a la carga aplicada en un plano solamente (como opuesto al arreglo periférico cerrado) no se observa ninguna mejora en la resistencia.

En resumen, las únicas formas de refuerzo probables de ganar una significativa resistencia a la compresión son, las mallas reforzadas cuadradas fabricadas con estribos cerrados o arreglos cilíndricos, los cuales restringen el mortero, forzándolo a adoptar refuerzos triaxiales, condiciones asociadas con mayor resistencia.



\* FIG. 2.4.1b RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA COMPRESIVA Y CONTENIDO DE ACERO O FRACCIÓN DE VOLUMEN PARA COLUMNAS DE FERROCEMENTO REFORZADAS CON EWM O EXM

\* Referencia No.2

## Resistencia Última a Flexión

La resistencia última en flexión naturalmente refleja la influencia combinada de factores afectando la resistencia a la tensión y a la compresión, ejemplo, la cantidad, tipo, orientación y geometría intrínseca de las capas de refuerzo. Muchos investigadores han usado los principios de análisis convencionales de la resistencia última para el concreto reforzado, para determinar la resistencia de elementos de ferrocemento. Esta metodología, no obstante, satisfactoria en muchos casos, toma en cuenta solamente el área efectiva de la sección transversal y la posición de las capas de refuerzo respecto al eje neutro.

El tipo de refuerzo, la orientación, la separación y la geometría de las capas son variables adicionales importantes para el ferrocemento, para aislar la importancia de estas variables y dar realce a circunstancias donde un análisis convencional de resistencia absoluta, establecer un indicador general de comportamiento aplicable a todos los datos que limiten la influencia de diferencias en el mortero y resistencia del refuerzo, tamaño del elemento, posición de las capas de refuerzo, etc. El indicador buscado es la relación de eficiencia y es el equivalente de la resistencia a la tensión seleccionada, por ejemplo, la relación del actual momento último, determinado por la prueba del valor del momento último por el método de la resistencia última a tensión. Sin embargo, la actual determinación de la resistencia última a tensión depende de la extensión, distribución de la tensión y la forma de la falla asumida, el tipo de esfuerzo, de la función escogida para el refuerzo, el coeficiente del bloque de esfuerzo y la tensión última seleccionada por el mortero, relaciones eficientes basadas en cualquier método particular de determinación son comparables en sentido relativo, en forma indiferente al método usado.

Antes de considerar la relación de eficiencia de varios sistemas, es interesante comparar el funcionamiento de varios sistemas de refuerzo en términos de la relación entre el actual

esfuerzo último a flexión medido en pruebas y el área efectiva de refuerzos en la dirección longitudinal. La comparación está hecha con varios refuerzos en su orientación normal (como previamente se definió para las mallas de metal expandido, malla cuadrada y malla hexagonal), a varios niveles de resistencia de refuerzo.

La distribución de las capas de refuerzo fue asumida uniforme, tomando como base la profundidad de la sección transversal y las barras de la armadura rigidizante no fueron consideradas. La comparación muestra que la malla de metal expandido y la malla cuadrada soldada actúan mejor que la malla entrelazada o barras convencionales con puntas de anclaje (barra convencional de refuerzo fue incluida para propósitos de comparación solamente y no pueden ser permitidas por el código de construcción ACI); la malla entrelazada, las barras convencionales y la malla hexagonal actúan en forma similar. Basado en un área longitudinal de refuerzo, la malla de metal expandida y la malla cuadrada soldada en su orientación normal son más efectivas en flexión que otros tipos de refuerzo, a pesar de las diferencias en pruebas en el tamaño del elemento, el mortero, la superficie específica y el espaciamiento entre las capas de refuerzo.

El uso de relaciones eficientes da un indicativo valedero de la efectividad de varios tipos de refuerzo. A pesar de las pequeñas diferencias en los métodos de análisis aplicados en la resistencia última para determinar el momento último, el consenso es que la eficiencia de las relaciones para mallas de metal expandido y mallas soldadas en sus orientaciones normales son más altas que la de la malla entrelazada en el rango de 1.05 a 1.20. Similares relaciones de eficiencia han sido obtenidas también para carga uniaxial y biaxial (losa circular con una carga central ) usando una malla hexagonal tendida en capas alternas con barras rigidizantes entre ellas, el funcionamiento de este sistema de refuerzo alcanza y ligeramente excede lo esperado en el análisis de carga última, alguna resistencia adicional



aparente es impartida por las dos direcciones naturales del refuerzo, como ya se notó en la resistencia a la tensión.

Hay probablemente tres razones para la mayor efectividad en flexión de la malla cuadrada soldada y la malla de metal expandido sobre la entrelazada. Primero es la posibilidad del destrenzado debido al estiramiento prematuro de los alambres longitudinales, los cuales en mallas entrelazadas no son inicialmente rectos debido a las trenzas. Este estiramiento también reduce los aparentes módulos del sistema de malla. Segundo es la resistencia de las uniones a la falla asociada con el anclaje de los elementos oblicuos en la malla soldada y la malla de metal expandido. (conexión de los alambres de las mallas). Tercero es el efecto del componente transversal del refuerzo restringiendo la expansión lateral del mortero en la zona de compresión, debido a la estabilidad inherente con el refuerzo longitudinal; además, reforzando el mortero para crear la condición de esfuerzo biaxial. Ya que estas tres consideraciones también se aplican en alguna forma a la malla hexagonal, ello puede influir en su funcionamiento de una manera similar.

La orientación de los refuerzos es tan importante para la resistencia a la flexión como para la resistencia a tensión, particularmente cuando la resistencia bajo carga biaxial es considerada. Mientras que mallas cuadradas ofrecen igual resistencia en ambas direcciones paralelas a los alambres, la resistencia en los 45 grados de orientación es 67 - 80 por ciento de esos alambres paralelos para malla soldada, y, con menor diferencia para la malla entrelazada. Con la malla de metal extendido, la resistencia en dirección transversal es particularmente baja, de 11 a 15 por ciento, 23 y 33 por ciento de los valores para orientación normal, y, dependiendo de la naturaleza del refuerzo. Para la malla hexagonal, la resistencia en dirección transversal es un promedio del 57 por ciento de esos alambres en su orientación normal. Estas reducciones son más grandes que lo esperado en la suposición simple de disminución en el área efectiva de la sección transversal del

refuerzo. Relaciones efectivas para mallas de metal expandido en la dirección transversal son del orden de 0.5.

La superficie específica del refuerzo depende de dos parámetros, el diámetro de los elementos reforzantes y el espaciamiento de los mismos (separación entre capas), esta superficie específica influye en la resistencia última de mallas entrelazadas, relativamente grandes, arriba de 6 pulgadas (150 mm.) cuadradas. Sin embargo, examinando datos comparables de mallas soldadas y entrelazadas, mallas más pequeñas que 1 pulgada<sup>2</sup> (25 mm<sup>2</sup>.) no muestran evidencia de la influencia de la superficie específica en la resistencia última.

Aparentemente, un incremento en la superficie específica es solamente beneficiosa, dependiendo del largo del alambre que está en contacto dentro del mortero, esto es un factor que afecta la resistencia última. A veces, la falta de adherencia no es un factor que afecta, por ejemplo, en mallas soldadas y en mallas de metal expandido donde la adherencia efectiva es proporcionada por el refuerzo transversal, también en mallas de excelente clase, la mayor superficie específica que la mínima requerida para prevenir la falla de ligadura no siempre es beneficiosa.

De hecho, esto puede ser perjudicial provocando una reducción en resistencia, aparentemente causada por la dificultad de una buena penetración del mortero en el sistema de refuerzo.

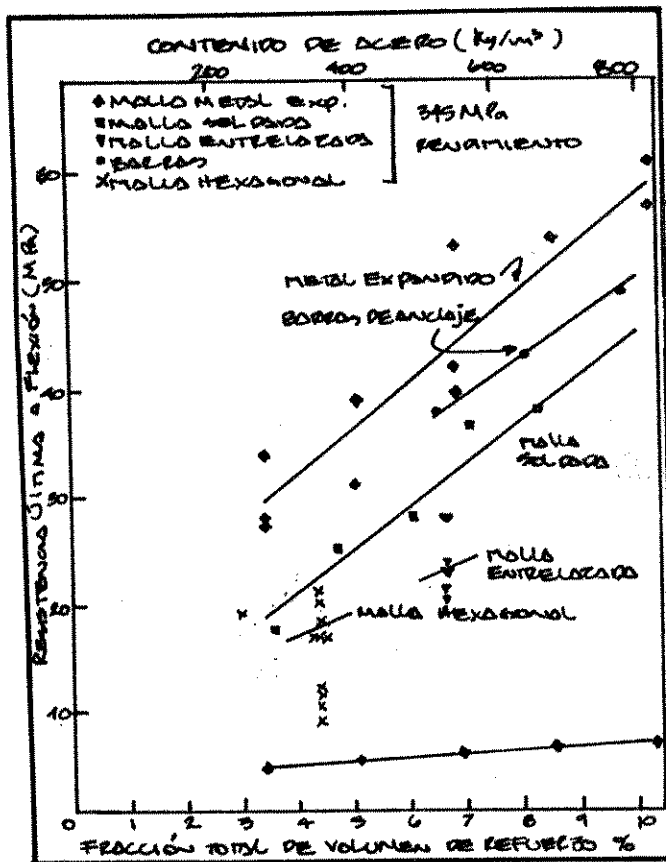
El espaciamiento de las capas de refuerzo es normalmente uniforme por todo el espesor disponible de la sección transversal, excepto cuando la armadura de barras rigidizantes está presente. La idea de que capas concentradas en la parte superior e inferior del elemento a flexión aumentan la resistencia flexible, no es razonable, debido a la gran distancia del eje neutro. Sin embargo, mucha veces tal arreglo reduce la resistencia absoluta y la relación de eficiencia por provocar falla de corte horizontal, la cual no es

normalmente un problema en unidades de ferrocemento con refuerzos uniformes, con espaciamientos cercanos y una gran relación luz / peralte.

Lo anterior ha sido comprobado usando mallas de metal expandido, las cuales al ser distribuidas uniformemente en el espesor efectivo del elemento han dado relaciones óptimas de eficiencia.

En general, la elección óptima de refuerzo para resistencia flexible, como ya se ha notado en la resistencia a tensión, depende si la carga es esencialmente uniaxial o significativamente biaxial. Para carga uniaxial la efectividad del costo de los diferentes refuerzos están ilustrados por la relación entre resistencia flexible y el contenido del acero o fracción de volumen (fig. 2.4.1 c) claro, la malla de metal expandido es la mejor elección sobre estas bases. También, generalmente, ésta cuesta menos por unidad de peso. Alternando capas de malla hexagonal con barras de armadura rigidizante en ambas direcciones parece igualmente efectiva para la misma resistencia de rendimiento bajo condiciones biaxiales, la malla soldada es probablemente la mejor elección; sin embargo, la debilidad inherente bajo los 45 grados del eje diagonal deberá ser tomada en cuenta. Cuando la malla de metal expandido o la malla hexagonal son empleadas bajo estas condiciones, la orientación de las capas sucesivas deberá ser alternada para contar con sus características anisotrópicas.

Otra consideración que cuenta para la elección de el refuerzo es la facilidad de adoptar la curvatura del elemento a ser construido. La malla hexagonal es particularmente adecuada para secciones de curva simple y la malla de metal expandido para secciones planas.



\*  
 FIG. 2.4.1c RELACIÓN ENTRE  
 RESISTENCIA ÚLTIMA A FLEXIÓN DEL  
 FERROCEMENTO Y LA CANTIDAD  
 TOTAL DE REFUERZO

#### Resistencia a Corte

Notablemente, pocos de los muchos estudios sobre ferrocemento han incluido la resistencia a corte en su evaluación, tal vez porque el ferrocemento es usado primeramente en elementos delgados, donde la relación luz / péralte en flexión es bastante grande y no es el corte el que dirige el criterio de falla. La alineación longitudinal paralela de las capas de refuerzo a corte es equivalente a la inclinación de las barras o de los estribos usados en concreto reforzado. Sin embargo, la mayoría de aplicaciones con ferrocemento no requieren refuerzos por corte. La resistencia a corte ha sido medida para elementos reforzados con mallas entrelazadas y barras de la armadura rigidizante probadas con inclinación a un corte con una relación luz / peralte de 0.4.

\* Referencia No.2

Mientras que los valores actuales reflejan las características del acero y del mortero usado, ellos permanecen como una fracción constante de cerca del 32 por ciento de lo equivalente a la resistencia a la flexión, en un rango contenido de acero de 18 a 35 lb / pie<sup>2</sup> (288 - 480 kg. / m<sup>2</sup>), el 35 por ciento es válido para otros sistemas de refuerzos inciertos .

Algunos usos del ferrocemento para construcción de botes, han demostrado la resistencia del material ante fuerzas de corte punzante y pruebas accidentales que incluyen choques con rocas u otros botes.

#### 2.4.2 Taller de Prefabricación

Los pasos necesarios para fabricar paneles de ferrocemento, se pueden sintetizar en los siguientes.

- a) Elección del sitio donde se montará la planta de producción.

Este debe ser lo más plano posible, percatándose de que al lugar se pueda proveer de agua y cuente con espacio suficiente para producir y almacenar paneles. Además debe de estar lo más próximo posible a la bodega de materiales a emplear.

El caso óptimo será cuando el sitio escogido coincida con la obra a construir, de esta forma se ahorrará tiempo y dinero en el transporte de paneles; de igual manera, si los moldes para fabricar paneles, son de concreto, se podrá aprovechar tal situación para una vez terminada la producción, se utilicen los moldes como piso de torta de concreto de la obra por realizar. Esto se logra, rellenando los espacios vacíos entre moldes.

b) Construcción de moldes para paneles.

La construcción de moldes para paneles, es una etapa muy delicada, pues de ello dependerá la calidad del producto que se obtenga. Los moldes pueden elaborarse de hierro, madera, tierra, concreto simple o armado, etc., dependiendo de los recursos con que se cuente.

Para el molde lateral de los paneles, podrá igualmente usarse “anillos” de hierro, madera, concreto u otro material que resista los empujes laterales causados por el vaciado del mortero y sus posteriores contracciones.

c) Armado de Paneles

Previamente a colocar el refuerzo del panel, deberá colocarse en el molde un desencofrante que permita despegar con toda libertad el panel, una vez que se haya fundido y alcanzado su resistencia para ser levantado.

La malla de refuerzo debe colocarse de acuerdo a la forma diseñada, teniendo cuidado que no existan escamas en su configuración y que guarde una forma regular al ser colocada, evitando que exista un recubrimiento defectuoso, causados por cortes deficientes de la misma.

d) Elaboración de la mezcla del mortero.

Esta debe elaborarse con las proporciones adecuadas, conforme a la forma y trabajo del panel a construir. Deberá tomarse muy en cuenta el control de la relación agua-cemento, para lograr una consistencia óptima.

Cuando el mortero se elabore a mano, el cemento y la arena deben mezclarse en seco, en una batea limpia, hasta que la mezcla tenga un color uniforme, agregando agua hasta obtener la consistencia y plasticidad adecuadas.

e) Aplicación correcta de la mezcla de mortero.

Esta es la fase más crítica de toda la técnica de fabricación de paneles de ferrocemento, debiéndose presionar el mortero con la mano, tratando de introducir la mayor cantidad de material entre la malla; por otra parte, se considera la aplicación a mano, como la más satisfactoria.

Los paneles, al terminar de fundirse, se les puede dar un tallado final o dejarse rústicos, también es conveniente marcarles la fecha de fundición y la función que desempeñan.

f) Etapa de Curado

El curado constituye una parte muy importante para el éxito completo de este procedimiento constructivo y debe hacerse durante las etapas tempranas de endurecimiento (72 horas intensivamente), y regularmente hasta los 28 días, estimulando la hidratación del cemento con una temperatura controlada y el

movimiento de humedad causado por ésta dentro de el mortero. El curado puede hacerse de tres formas: por humedad, por membrana impermeable o por vapor.

### 2.4.3 Fabricación IN\_SITU

La mezcla del mortero debe ser hecha en aquellas proporciones ya determinadas para obtener la resistencia deseada. Estas proporciones están dadas por peso y varían desde 1 parte de cemento por 1.5 partes de arena, hasta 1 de cemento por 2.5 de arena. La relación agua / cemento se debe mantener baja como sea posible para dar al mortero la trabajabilidad adecuada. En todas las construcciones la relación agua / cemento debe mantenerse tan cerca de 0.40 en peso como sea posible. Si se requiere el uso de puzolanas u otro aditivo, la cantidad prescrita debe usarse al tiempo del mezclado.

La experiencia muestra que para muchos casos el mezclado a mano es satisfactorio si se hace correctamente. Pero para estructuras grandes y elementos prefabricados se recomienda una mezcladora horizontal para una mejor calidad de mezclado.

En la práctica, la arena y el cemento se mezclan juntos primero y después se añade la cantidad de agua necesaria. La bachada debe mezclarse hasta que se forma una pasta uniforme. El tiempo mínimo de mezclado es de aproximadamente tres minutos.

### Colocación del Mortero

La colocación del mortero está considerada como la fase más crítica en toda la técnica de la construcción del ferrocemento. Antes de comenzar la colocación del mortero en una estructura debe asegurarse que todas las barras de acero y la malla estén en posición correcta. El refuerzo usado debe estar libre de óxido, grasas y otros contaminantes.



El colocado a mano ha probado ser el método más satisfactorio. Los dedos y una paleta se usan para aplicar el mortero a la estructura formada con malla. Debido a la cohesión de la mezcla, el mortero se mantiene en su lugar después del colocado. No es necesario el uso de formaletas. Sin embargo en algunos casos una plancha de madera o una hoja o placa de acero galvanizado pueden usarse como una soporte provisional que puede quitarse inmediatamente después del colocado y vibrado del mortero.

Se han desarrollado diferentes métodos de colocado del mortero, especialmente en la industria de construcción de botes, entre ellos el método de una capa y el de dos capas. El método de una capa se refiere a una sola aplicación monolítica del mortero para cubrir la malla, terminado el lado de adentro y el de afuera al mismo tiempo, antes de que tenga lugar el fraguado inicial del mortero de cemento. El método de dos capas consiste en colocar primero el mortero de un lado presionado hasta que pase solamente a las barras de acero de refuerzo dándole acabado al lado externo y curando; los vacíos que quedan son llenados desde el otro lado y entonces se dan acabados y curado a este último lado.

#### Método de una Capa.

Es una práctica recomendada forzar el mortero de afuera hacia adentro en la malla, posteriormente retocar hasta obtener una superficie lisa. Pero esta técnica es bastante difícil y requiere cierta experiencia en lograr que el mortero penetre completamente en las capas de malla y en las barras de acero sin dejar ningún vacío. Bajo ninguna circunstancia debe aplicarse el mortero de un lado hasta que el otro halla sido completamente penetrado. El colocado de ambos lados al mismo tiempo no se debe hacer, debido a que invariablemente resulta formación de ratoneras entre las capas.

Cuando se usa el método de una capa tal vez la forma más recomendable es colocar el mortero de un lado con hojas de plywood o una madera laminada en el otro lado, como una formaleta provisional mientras se realiza el vibrado. En muchos de los casos un vibrador de manos con una pieza de madera es suficiente para completar la penetración del mortero en la malla y para asegurar una buena compactación. De algunas experiencias se ha encontrado que una lijadora orbital, con una plancha de metal sustituyendo la lija, provee una vibración adecuada; la vibración es localizada, por lo cual el mortero colocado no es sacudido fuera de la malla. Sin embargo el uso de vibradores debe ser cuidadosamente supervisado para asegurar que el mortero recién colocado no sea perturbado posteriormente.

Cuando se aplica el mortero, es importante además asegurarse que si se aplica una cubierta protectora a la estructura o cualquier otro tipo de acabado, esto sea hecho antes de que tenga lugar el fraguado final de la capa principal de mortero.

#### Método de dos capas

Como resultado de las dificultades experimentadas en el método de una capa, se ha preferido el método de dos capas en la mayoría de las construcciones, especialmente en las de botes. En este proceso, la principal ventaja consiste en que, cuando se hace la colocación de un lado, el mortero se puede forzar dentro de la superficie sólida con menor cambio de vacíos. Sin embargo el vibrado es esencial cuando se está aplicando la segunda capa. Las fallas en este aspecto resultan en aire atrapado y vacíos entre las dos capas. El uso de vibrador remueve el aire y asegura una buena compactación. Después de completar la primera aplicación y alisar la superficie de la manera usual, la estructura debe someterse a curado húmedo por unos 10 a 14 días. Antes de aplicar la segunda capa es esencial

limpiar la superficie y remover todo el material suelto. Luego, antes de la aplicación de la segunda capa de mortero, se debe aplicar una lechada de cemento a la superficie. Esto elimina el riesgo de separación entre las dos capas (sin embargo aún persisten las dudas sobre la calidad de la junta entre las dos capas).

## 2.5 Recomendaciones Constructivas

### 2.5.1 Métodos Constructivos

La construcción con ferrocemento, a diferencia de otros métodos más sofisticados, no requiere de mano de obra calificada y los materiales utilizados son de fácil adquisición. La experiencia en técnicas para la construcción de ferrocemento se adquiere con facilidad, y el control de calidad puede ser satisfactorio si se utiliza personal no-calificado bajo la supervisión de una sola persona con experiencia.

La ventaja más importante del ferrocemento sobre otras formas de construcción es que puede ser fabricado en cualquier forma deseada para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Los cuatro pasos más importantes en la construcción con ferrocemento son:

- Colocación de la malla de alambre y el acero de refuerzo.
- Mezelado del mortero.
- Colocación del mortero.
- Curado de la estructura.

A continuación se detalla una descripción de estos pasos, aplicable a casi todas las construcciones.

#### -Colocación de la Malla y el Acero de Refuerzo

Para estructuras sometidas a grandes esfuerzos como botes, barcazas, etc., las barras de acero a lo largo de la malla de alambre, se consideran como el componente del refuerzo que le da resistencia estructural y rigidez, mientras que en muchas de las estructuras terrestres, la malla de alambre se considera el refuerzo principal. Las barras de refuerzo (en la construcción de botes) y la malla de alambre están distribuidas uniformemente y adaptadas a las forma que se desea dar a la estructura. El contenido de acero varía de un 1% a un 8% en volumen. En estructuras altamente reforzadas, la distribución de las barras y la malla debe hacerse de tal manera que permita una penetración adecuada del mortero, para obtener una material denso y libre de vacíos (ratoneras).

El refuerzo de parrillas debe ser asegurado por medio de soldaduras o cualquier otro método que lo mantenga en su posición durante la aplicación del mortero y/o vibración.

En general, se recomiendan las barras de acero suave, pero para estructuras sometidas a grandes esfuerzos como botes, barcazas, etc., sería preferible usar un acero de alta resistencia. Actualmente los tamaños más comúnmente usados son de 0.20 a 0.25 pulgadas (5.0 6.25 mm.) de diámetro para el refuerzo transversal y longitudinal.

El espaciamiento entre barras varía desde 3" (7.6 cm.) hasta 12" (30 cm.), dependiendo del tipo de estructura. Los constructores de botes recomiendan un espaciamiento de 3", mientras que en estructuras como tanques de almacenamiento de agua,

silos para granos, etc., donde las barras no son consideradas como refuerzo estructural, pueden ser espaciadas tanto como sea posible para dar la forma adecuada a la malla de alambre. Las longitudes de traslape varían de 9" a 12" (23 a 30 cm.) en la mayoría de las estructuras. Las barras generalmente se amarran con alambre de acero, pero, si es posible, también se pueden soldar las juntas.

La malla de alambre, generalmente galvanizada a pesar de que es preferible la no-galvanizada, es colocada por dentro y por fuera de las barras de acero. El número de capas de malla varía desde dos hasta ocho, dependiendo del diseño. La malla es atada al acero en intervalos que van de 6 a 12 pulgadas (15 a 30 cm.) con alambre galvanizado. La malla hexagonal y la de metal expandido resisten mayores cargas en la dirección longitudinal que en la transversal, lo cual indica la forma deseable de colocación de la malla (se debe colocar paralela a la dirección del esfuerzo dominante). Sin embargo, la colocación alterna en dos direcciones da como resultado un material más o menos isotrópico, por lo que esta es una práctica muy común actualmente.

Es de mucha importancia que la malla tome forma por sí sola en espacios tan grandes como sea posible, aunque esto significa traslapes muy grandes en algunas partes. Si los traslapes causan dificultades, la malla sobrante se puede cortar. Sin embargo, siempre se debe mantener un traslape mínimo de 2 pulgadas (5 cm).

#### -Mezclado del Mortero

La mezcla del mortero debe llevarse a cabo conforme lo descrito en la sección 2.4.3.

## Colocación del Mortero

La colocación del mortero se debe de llevar a cabo conforme lo descrito en la colocación del mortero de la sección 2.4.3.

## Curado

Para obtener un mortero endurecido de buena calidad, la colocación y la compactación del mortero debe ser seguida del curado en un medio ambiente adecuado durante la etapa inicial del endurecimiento. Curado es el nombre que se da a los procedimientos usados para contribuir a la hidratación del cemento, y consiste en el control de la temperatura y de la humedad del mortero.

Más específicamente, el objeto del curado es mantener el mortero saturado hasta que los vacíos originalmente llenos de agua en la pasta de cemento fresca, se hallan llenado al grado deseado por los productos de la hidratación del cemento. La hidratación no puede efectuarse sin agua, y si el agua de mezclado se evapora fuera del mortero, la hidratación y por consecuencia, el desarrollo del esfuerzo y la durabilidad se verá seriamente afectada.

Existen diferentes métodos de curado que han sido desarrollados desde hace mucho tiempo. A continuación se da una breve descripción de los métodos normalmente usados en el curado del ferrocemento. El procedimiento a escoger variará dependiendo de las condiciones, disponibilidades, del tamaño, la forma y la posición de la estructura.

### Curado por Humedad

Una vez que el mortero ha fraguado, se puede realizar el curado por humedad poniendo al mortero en contacto con agua por unos 10 a 14 días. Esto se puede hacer mediante regado o estancamiento de agua o cubriendo la superficie con arena saturada de agua, tierra, aserrín o paja.

### Curado por Cubierta Impermeable

En este tipo de curado se usa una membrana impermeable o papel a prueba de agua para cubrir la superficie acabada. La cubierta, si no es perforada o dañada, previene efectivamente la evaporación de agua del mortero. La membrana está formada por componentes selladores que pueden ser claros, blancos o negros. Los componentes opacos tienen el efecto de dar sombra al concreto, y un color claro absorbe el calor del sol. Si la estructura está directamente bajo los rayos del sol, la temperatura aumentará considerablemente; lo cual acelerará el desarrollo del esfuerzo en el mortero. Hay muchas formas de membrana de curado. Generalmente están disponibles productos de cera para pinturas. Sin embargo, a pesar de que estos productos disminuyen la evaporación, también disminuyen la adhesividad de la superficie para cubiertas posteriores como pinturas u otros, por lo tanto se debe tener mucho cuidado con el uso de estos productos.

Para los dos casos anteriores, el curado debe ser continuo durante un período de al menos siete días, de lo contrario se producirán efectos perjudiciales como contracción, agrietamiento o disminución en el desarrollo del esfuerzo debido al secado prematuro.

## Curado a Vapor

Cuando es posible terminar la colocación por el método de una etapa y en un sólo día, el uso del curado al vapor es deseable y ventajoso. Este tipo de curado es conveniente en climas fríos y cuando es esencial un desarrollo rápido del esfuerzo. En climas cálidos no es esencialmente una necesidad urgente. El curado a vapor ha sido usado con diferentes tipos de cemento portland, pero no se debe usar con cementos aluminosos debido a los efectos adversos de las condiciones de calor y humedad en el esfuerzo de este cemento. Un mortero con baja relación agua/cemento responde mejor al curado a vapor que uno con una relación alta.

Cuando se usa este método, sin embargo, es recomendable esperar de 4 a 5 horas después de completada la colocación del mortero antes de aplicar el vapor con el fin de esperar el fraguado final. El vapor puede ser obtenido de cualquier fuente de baja presión, es decir a temperaturas por debajo de los  $100^{\circ}\text{C}$  ( $212^{\circ}\text{F}$ ). La temperatura máxima del curado al vapor no debe exceder los  $71^{\circ}\text{C}$  ( $160^{\circ}\text{F}$ ). La experiencia ha mostrado que el curado a vapor disminuye la contracción, aumenta el esfuerzo a compresión y da mayor vida al mortero.

Durante el proceso de curado, la estructura completa debe ser cubierta con pliegos de plástico y las juntas selladas para prevenir la pérdida del vapor. Deben ser colocadas de tal forma que no estén en contacto directo con el mortero fresco en ningún punto. Es necesario aumentar la temperatura gradualmente en dos horas hasta los  $71^{\circ}\text{C}$  ( $160^{\circ}\text{F}$ ), y mantenerla constante durante un período de seis horas, después del cual se debe dejar enfriar durante no menos de cuatro horas. Es preferible, mientras sea posible, extender este período a un mayor tiempo, pero bajo ninguna circunstancia se debe permitir un



enfriamiento repentino del sistema, ya que esto causaría efectos altamente perjudiciales en la estructura.

### Acabados

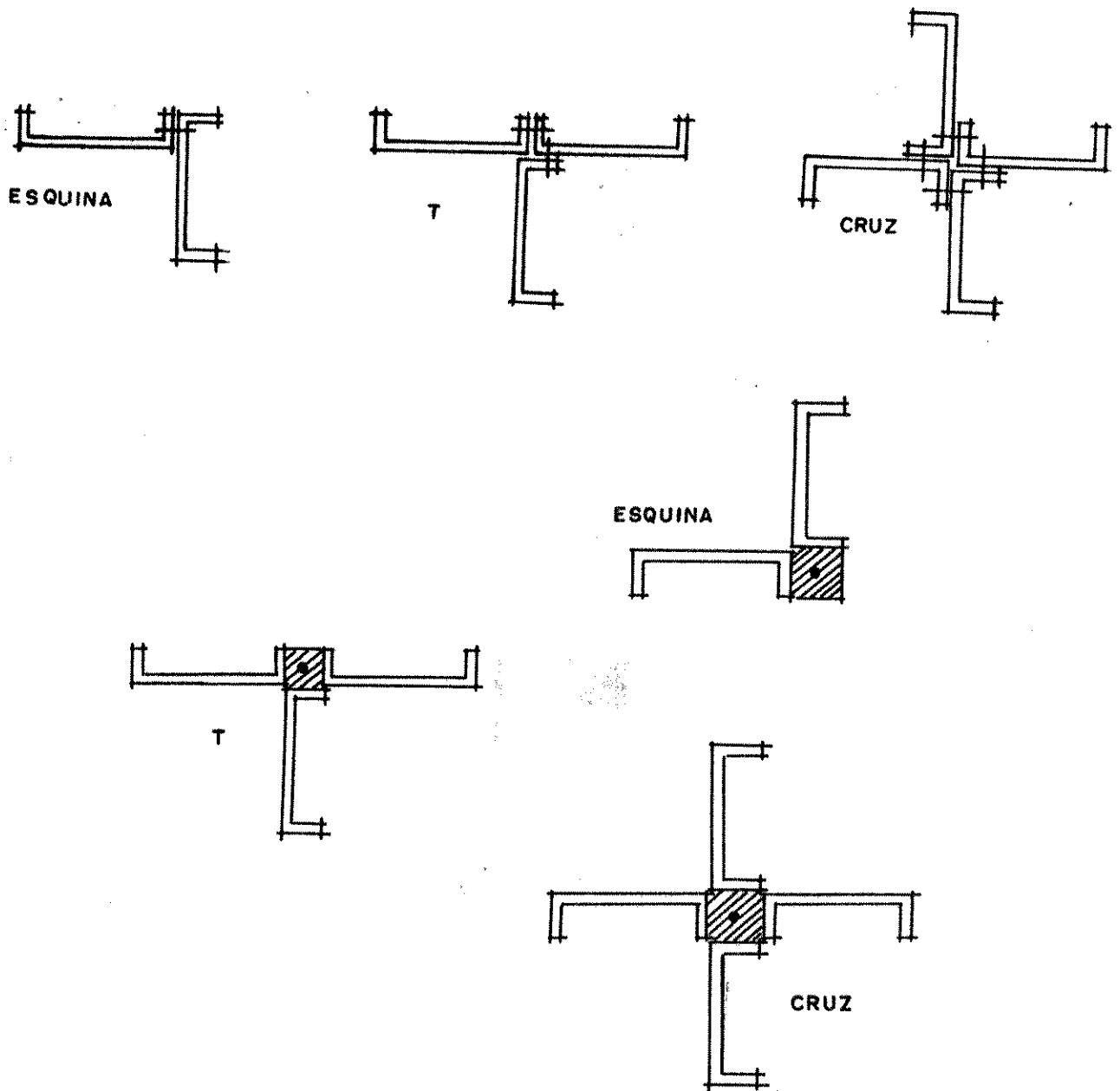
En el transcurso de una operación normal de colocación de mortero, el trabajo de acabado superficial es realizado antes de que ocurra el fraguado final. El recubrimiento del refuerzo en el ferrocemento no debe ser mayor de 1/12 de pulgada (2 mm.), sin embargo el deseable es de 1/16 de pulgada (1.5 mm.). Se puede usar una plancha de madera durante el proceso de colocación para asegurar que la superficie quede recta y evitar concavidades y/o abultamientos entre las barras de acero. Esto ayuda a los coladores del mortero a ver dónde es necesario añadir este para rellenar las concavidades o donde es necesario remover los excesos. Para completar la operación, se debe alisar la superficie con planchas de madera. Después se completa con planchas o cuchara de acero para obtener un acabado liso. Si se necesita una superficie áspera o rugosa para la aplicación de pintura, se puede usar una esponja para obtener una superficie con buena adherencia.

### 2.5.2 Juntas y Uniones

Uno de los problemas que es necesario resolver, es el ocasionado por las uniones entre los tableros. Juntas entre los elementos de los muros, techos y entrepisos. En los muros se presentan una gran variedad de posibilidades que son:

- 1) Juntas en esquina.
- 2) Juntas en forma de T.
- 3) Juntas en forma de Cruz.

A continuación se muestran algunas de las posibilidades. El empleo de cualquiera de los tipos mostrados, dependerá del caso por resolver. Las uniones entre los elementos del techo y los muros ha sido muy sencilla, para el caso de habitaciones de un piso. Se han hechos estudios de las uniones entre elementos horizontales y verticales para el caso de uniones de muros y entrepiso en viviendas de más de un piso.



### 2.5.3 Tratamientos

La experiencia demuestra que una estructura de ferrocemento adecuadamente fundida, no necesita protección a menos que vaya a estar expuesta a condiciones ambientales severas. La pintura, en la mayoría de los casos, tiene fines meramente estéticos. Sin embargo, una cubierta protectora es necesaria cuando la estructura estará sujeta a fuertes ataques químicos que puedan dañar la integridad estructural de sus componentes. Generalmente existe la necesidad de prevenir los ataques químicos, en alcantarillados y plantas de procesamiento de desechos y en casi todos los tipos de estructuras marinas.

### 2.5.4 Acabado Final

Para estructuras en las cuales una cubierta protectora extra no es esencial desde el punto de vista estructural, la pintura ordinaria usada normalmente con fines estéticos puede ser suficiente. La protección externa de la estructura susceptibles de ataque químico puede estar dada por cubiertas orgánicas de las cuales son muy conocidas las vinílicas y las epóxicas. Existen muchas variedades disponibles en el mercado y se deben tomar consideraciones cuidadosas al escoger un tipo particular del material de recubrimiento.

Cualquier tipo de cubierta deberá reunir las siguientes características:

1. El sellador deberá tener buena adhesión con el mortero.
2. El sellador deberá ser compatible con la alcalinidad del mortero.
3. Debe tener buena abrasión y resistencia química.
4. Aislante eléctrico.
5. Impermeabilidad al agua y productos químicos.

6. El material debe ser no-tóxico y posible de ser aplicado con mano de obra no calificada.
7. Técnicas simples de aplicación, de preferencia con brocha.
8. Es deseable que el producto venga en empaque único.
9. No debe tener tiempo crítico entre capas.
10. Todos los productos deberán ser de secado rápido.
11. El mantenimiento posterior debe ser fácil.

Existen productos de dos componentes que requieren un proporcionamiento cuidadoso y tienen una vida utilizable limitada cuando se mezclan, lo cual resulta un desperdicio considerable. Los recubrimientos vinílicos aparentemente tienen todas las características deseables y son muy populares entre los constructores de botes de ferrocemento. Pero la adherencia de estos materiales con el mortero no es de primer orden, por lo que se debe usar un sellador inicial con propiedades adhesivas. Este sellador inicial puede ser un recubrimiento tipo laca, generalmente vinílico, pero modificado por la adición de resinas altamente adhesivas y pigmentos inhibidores.

#### Métodos de aplicación

La preparación adecuada de la superficie es importante para el éxito de un sistema de recubrimiento protector. Cualquier superficie a ser cubierta debe estar seca y cuidadosamente limpia. La suciedad, grasas, y cualquier cubierta anterior, si la hubiera, deben ser removidas ya sea por chorro de arena o con cepillo con alambre.

El recubrimiento puede ser aplicado a temperaturas no menores de 60 ° F. Cuando se usan epóxicos para algún otro tipo de recubrimiento de dos componentes, la temperatura debe mantenerse entre 70 y 90 ° F para asegurar un curado adecuado.

El espesor requerido del recubrimiento depende del tipo de producto, formación y rugosidad de la superficie. Generalmente se requiere un mínimo de tres capas, siendo conveniente alternar el color de cada capa para asegurar una cubierta completa a toda la superficie.

## 2.6 Normalización

### 2.6.1 Requisitos mínimos para el Diseño y Construcción

#### -Materiales

##### Arena:

Se utilizará arena de grano duro y anguloso, libre de arcilla, limo, álcalis, mica, materias orgánicas u otras sustancias perjudiciales. No deberá contener fragmentos blandos, finos desmenuzables o materia orgánica en un porcentaje mayor del 1%.

Sobre la arena es preciso conocer las siguientes características.

- Granulometría
- Peso específico
- Porcentaje de absorción

y en general debe cumplir con las características según ASTM C-33. "Especificaciones estándar para agregados utilizados en el concreto".

#### Cemento

Se utilizará cemento tipo Portland I (PM) que cumpla con la norma ASTM C-595 "Especificaciones para cementos hidráulicos combinados".

#### Acero de Refuerzo

La malla para el refuerzo del panel deberá cumplir con la norma ASTM A-185 "Especificaciones para malla de alambre de acero soldado para refuerzo del concreto".

Las varillas de acero deberán regirse por la norma ASTM A-165 "Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero de lingote para refuerzo del concreto".

Las varillas deben estar libres de óxido suelto, escamas u otras sustancias que destruyan o reduzcan su resistencia.

#### Mortero

Los requisitos que en todo caso deberá satisfacer el mortero son los siguientes:

- La masa de sabieta fresca debe ser trabajable.
- El mortero a los 28 días, deberá tener una resistencia mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup> a compresión.

- El costo del producto resultante deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.
- El mortero deberá usarse inmediatamente, por lo que se prepara únicamente el que pueda utilizarse en 30 minutos de trabajo. Por ningún motivo se utilizará mortero rehumedecido.

-Mano de Obra.

Los aspectos más importantes a ser considerados relacionados con la mano de obra son

- Adecuada capacitación de personal.
- Rendimientos en obra.
- Cantidad de personas que intervienen en cada operación.
- Precauciones contra accidentes en el manipuleo y montaje.

-Montaje de los elementos.

Durante la etapa de montaje, los paneles deberán sostenerse ligados entre sí con conexiones de montaje que aseguren la estabilidad del conjunto y los alineamientos necesarios para ejecutar las conexiones definitivas.

De esta forma deberá obtenerse la mejor eficacia y economía de tiempo posible, así como seguridad en la erección de la obra.

-Tipo de Juntas.

Los resultados que el tipo de junta entre los componentes del sistema, en todo caso debe proporcionar son los siguientes:

- Una rigidez que garantice continuidad de esfuerzos y monolitismo.
- Un proporcionamiento del espacio correcto para lograr la conexión evitando cortes y ajustes mediante tolerancias.

### 3.0 Sistema Propuesto

#### Introducción

El sistema propuesto es la adaptación de un sistema estadounidense de vivienda prefabricada, a un proceso capaz de implementarse al medio Guatemalteco, tomando como bases experiencias, métodos y técnicas utilizadas aquí en Guatemala para la construcción de ferrocemento.

Este sistema está formado por paneles de mortero reforzados con malla electrosoldada de acero de alta resistencia, la forma del panel debe su origen a métodos de prefabricación utilizados en los Estados Unidos; el sistema tiene ciertas características, por ejemplo, utiliza formaletas de fácil elaboración y transporte, el proceso de montaje no utiliza métodos especializados, siendo posible trasladar y colocar los paneles manualmente.



## Descripción del Sistema

El sistema consiste en muros formados por paneles de mortero reforzado, que permiten un proceso rápido de montaje manual, reduciendo así la mano de obra. Los paneles tienen una sección tipo U, se unen por medio de juntas secas macho-hembra entre ellos, al llegar a alguna intersección se unen por medio de columnas de concreto simple, reforzado con una varilla No.3. Dichos paneles también constan de unos agujeros que tienen como función distribuir las diferentes instalaciones tanto eléctricas como hidráulicas, estos agujeros tienen las siguientes dimensiones: 2"X12" (5.08 cm X 30.48 cm). Dichos agujeros están localizados a un cuarto de la altura del panel, el armado de dicho panel consta de dos capas de malla de alambre soldado en la placa central y en los nervios dos varillas No.2 y una varilla No.3 la cual sirve de anclaje para la solera. La formaleta de dicho panel consta de un molde de concreto simple el cual le da la forma de "U", para darle la forma de la junta seca macho-hembra se utilizan los faldones y anillos, que son reglas de madera que dan la forma a los agujeros antes mencionados; para la cimentación se utiliza el método de pilotes, dichos pilotes son cubos de concreto fundido en las uniones de los paneles, éstos también constan de una solera de concreto en la parte superior que tiene las siguientes dimensiones: 15 cm de ancho por 15 cm de altura, con un refuerzo de cuatro varillas No.3 con estribos a 15 cm, algunos paneles son cortos para los accesos de ventilación e iluminación.

A continuación se describen las actividades a realizar para el proceso constructivo de viviendas de ferrocemento, seguido de los requisitos del sistema y los resultados del estudio de factibilidad:

- Preparación del terreno.
- Fabricación de los moldes.
- Anillos laterales y faldones.

- Fabricación de los paneles.
  - Colocación de anillos laterales y faldones.
  - Aplicación de capa separadora.
  - Armado de paneles.
  - Fundición de paneles.
  - Manipuleo.
  - Curado y almacenaje.

#### Materiales.

Los moldes se fabrican de concreto simple, usándose una proporción 1:2:3, con un agregado grueso de 1/2" y arena cernida pasada por el tamiz No. 4.

Los materiales usados en la fabricación de los paneles, fueron los siguientes:

- Cemento
- Arena de río
- Malla electrosoldada de 3.8 mm. de diámetro con separación de 15 cms.
- Varillas No. 2.
- Varillas No.3.
- Alambre de Amarre.
- Aceite quemado.

Para el moldeo lateral de los paneles, se utiliza madera de pino cepillada.

## Mano de Obra

La mano de obra deberá consistir por lo menos de 3 albañiles y 3 ayudantes, los cuales trabajan independientemente divididos en 3 grupos, constituidos por un albañil y un ayudante cada uno. Según experiencias se considera que cada grupo de los mencionados anteriormente arma y funde alrededor de 4 a 5 paneles por día. El mecanismo seguido para realizar el trabajo consiste en dedicar la tarde de un día para armar paneles y la mañana del siguiente día para fundirlos, habiendo ocasiones en que se invierte el proceso, debido principalmente al clima, ya que la lluvia es factor determinante a la hora de fundir, pues ésta lava el aceite quemado que sirve de lubricante o capa de despegue entre el molde y el panel, lo que provoca que éstos se peguen siendo imposible despegarlos.

Por eso se recomienda que si se va a trabajar en época de invierno, la planta de trabajo debe estar debidamente protegida contra la lluvia, construyendo galeras o algún otro tipo de techumbre.

En lo relativo al manipuleo de los paneles, se ha comprobado que éstos pueden moverse con un mínimo de 4 personas, siendo conveniente que intervengan 6 en esta operación.

## Equipo y Herramienta

A continuación se presenta una lista de los instrumentos de trabajo utilizados.

Equipo :

- Mezcladora, vibrador, sierra, pala, piocha, barreta, trepano, carretilla de mano, tubos de HG.

Herramienta:

- Martillo, Escuadra, Cuchara de Albañil, Tenaza, Hilo, Grifas, Nivel, Cíncel.

\* Proceso Constructivo.

-Preparación del terreno.

La primera tarea consiste en limpiar y nivelar el terreno, usándose para la nivelación, una manguera casera. Luego se compacta apropiadamente y se trazan los límites de trabajo. Estos se trazan, con la suposición, de que en ese lugar se levantará una vivienda, por lo cual se trabaja dentro de las medidas correspondientes al tamaño de la misma.

\* Referencia No.4

-Fabricación de los moldes.

Los moldes empleados son como los mostrados en la figura 3.0a, notándose que existe inclinación en los lados largos del molde y solo en uno de los lados cortos del mismo. Este lado constituye la parte superior del molde.

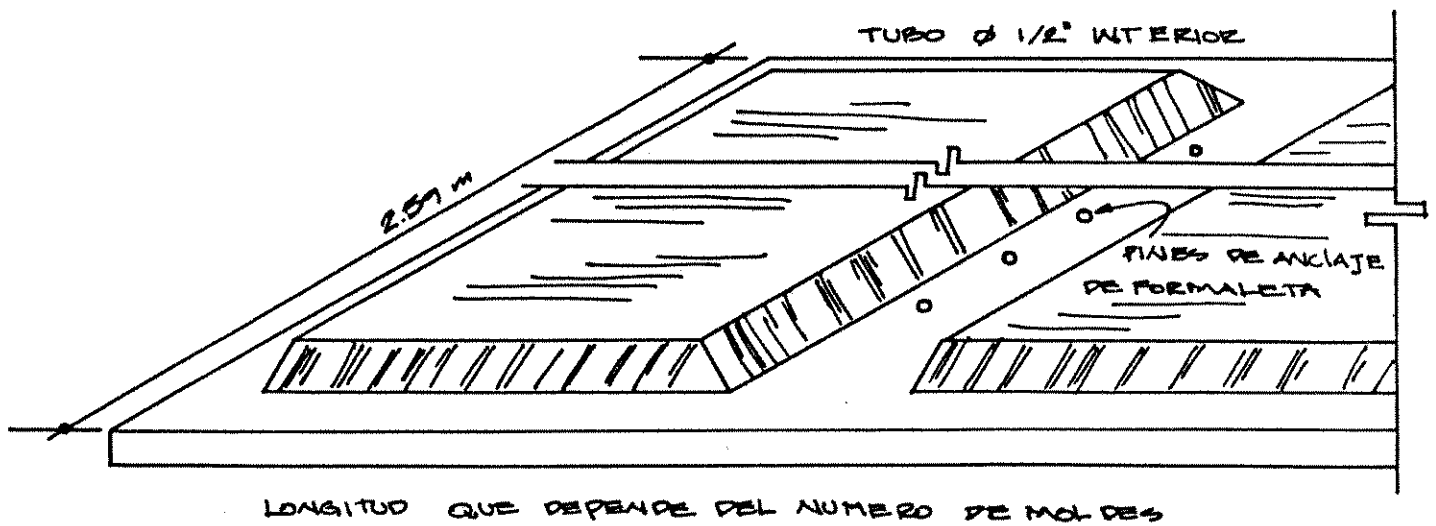


Figura 3.0 a

Lo primero que se construye, es la plataforma inferior de concreto de 12.5 cms. (fig. 3.0b) , en la cual deben dejarse previstos tubos de PVC de 1/2" de diámetro, en los cuales se colocan pines de anclaje. Posteriormente se funden los moldes, usando para ello formaleta de madera, la cual se controla por un hilo colocado en los contornos, para evitar deformaciones debidas al vaciado del concreto o contracciones por pérdida de humedad. La formaleta también cuenta con reglas rigidizantes y cuñas que le dan mejor estabilidad. El molde, al terminar de fundirse, se talla cuidadosamente, tratando de respetar las medidas previstas.

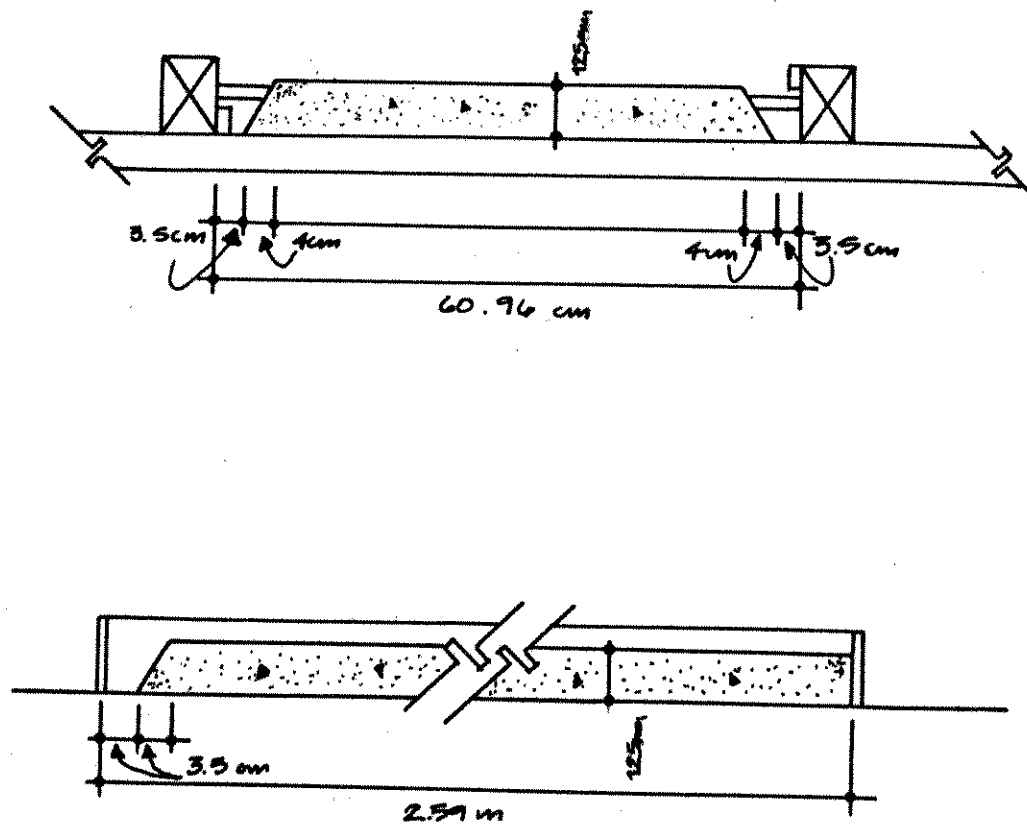


Fig. 3.0.b

-Anillos Laterales y faldones.

El molde de concreto sirve para darle forma al panel en el sentido perpendicular al mismo. Pues bien, para moldear los lados largos del panel a fabricar, se usan anillos de madera, consistentes en vigas de 4" x 6" x 9', con batientes de 1/2" x 2" x 9'; la función de este batiente, es darle anclaje lateral a los paneles uno con otro, la otra pieza de madera que crea el agujero para las instalaciones mide 2"x12" (50.8 mm x 304.8 mm) y va clavada a los anillos (fig. 3.0c)

Los faldones, constituyen las tapas de los paneles en sus extremos cortos, y se usaron piezas de madera de 1" x 9" x 2'.

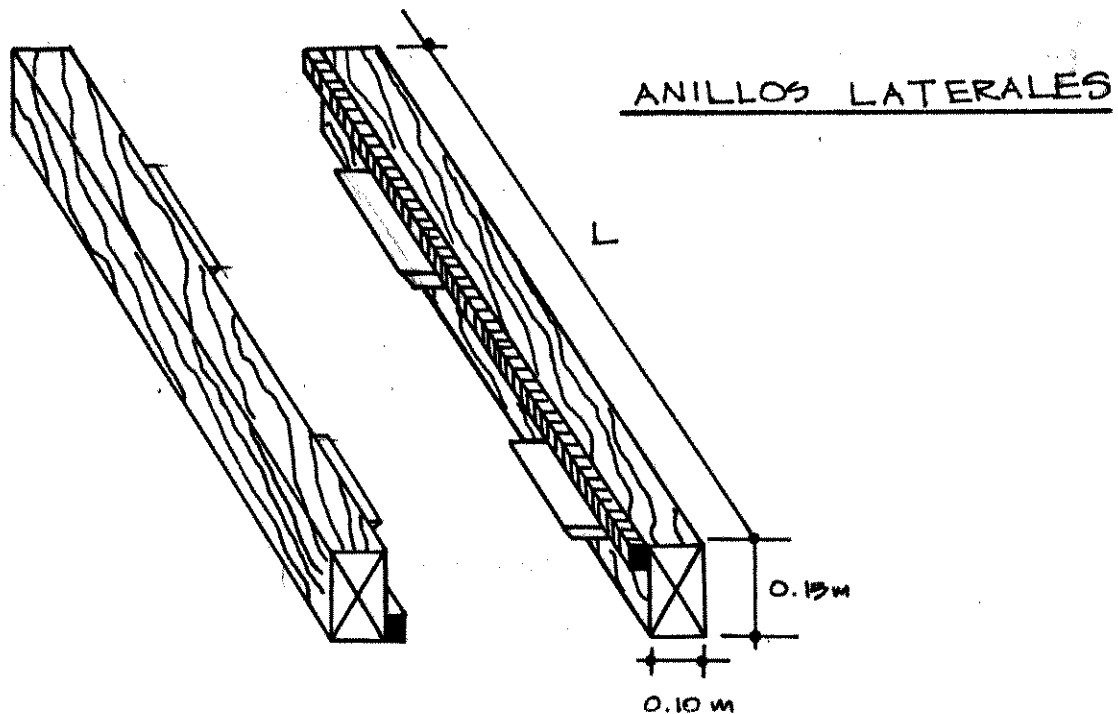


Fig. 3.0.c

-Fabricación de los paneles.

Una vez que se ha completado la etapa preliminar, se procede entonces a la fabricación de los paneles. Las facetas son las siguientes:

Colocación de anillos laterales y faldones.

Previamente al iniciar cualquier tarea, conviene limpiar el molde de concreto de cualquier suciedad o agente extraño sobre éste.

Los anillos laterales se colocan anclados convenientemente a pines de 1/4" de diámetro, de 20 cms. de longitud, que van metidos en los agujeros formados por los tubos de PVC previamente fundidos. Los faldones van clavados perpendicularmente a los anillos, de modo que en conjunto, formen una caja que contenga interiormente al molde de concreto. Esta caja debe chequearse que esté perfectamente rectangular y que sus lados formen un alineamiento perfecto.

Capa Separadora

Previamente a colocar la malla de refuerzo sobre el molde, se aplica sobre él, aceite quemado, el cual sirve para evitar que el molde y el panel se peguen.

Para aplicar el aceite quemado cada albañil usa una brocha con la cual lubrica completamente el molde de concreto, los anillos laterales en la parte interior y los faldones, es decir, en las partes en que la sabieta tuviera contacto al fundir.



Como se sabe, el agua anula los efectos lubricantes del aceite quemado, por lo que se evita aplicarlo cuando la lluvia se hace presente, debido a que la mayoría de veces se trabajaba a la intemperie.

#### Armado de Paneles. \*

El armado de paneles (Fig. 3.0 d), no se hace encima del molde directamente, sino que se utiliza un banco de carpintería, luego la armadura se transporta al molde. Esto se hace por razones de comodidad al trabajar.

La primera etapa comienza con el corte de la electromalla, la cual viene en planchas de 6.00 x 2.35 mts., enrollada entre sí, por lo que se estira convenientemente, cuidando de no causarle daños.

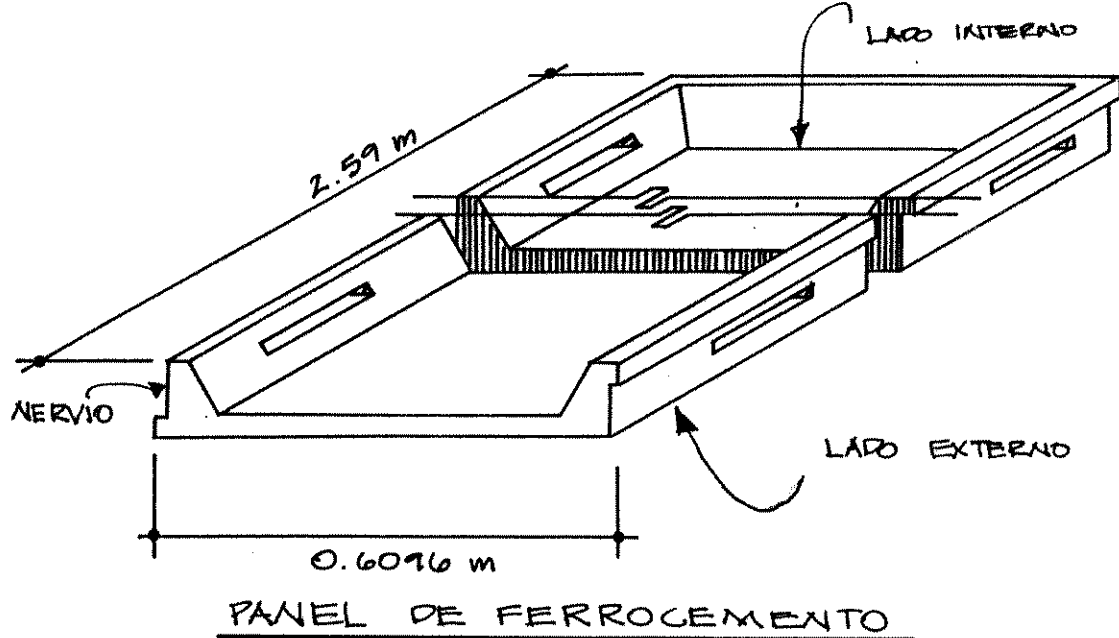
La placa central del panel, se refuerza con dos capas de electromalla de 3.8 mm. de diámetro, con separación de 15 cms.

El refuerzo de los nervios rigidizantes se hace usando la misma electromalla para el refuerzo transversal y con dos varillas de 2/8" de diámetro, para el refuerzo longitudinal al nervio.

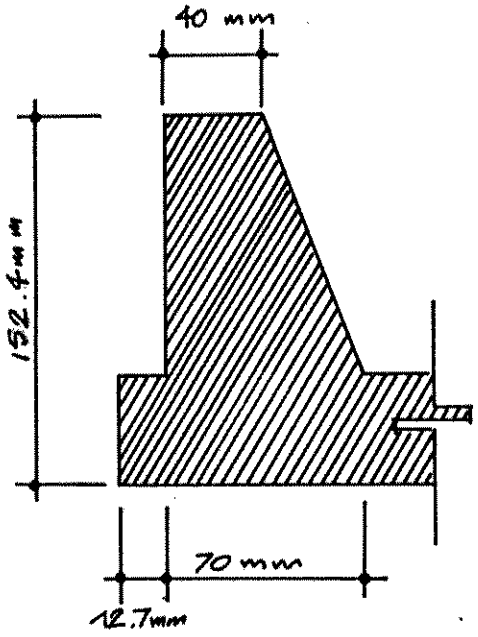
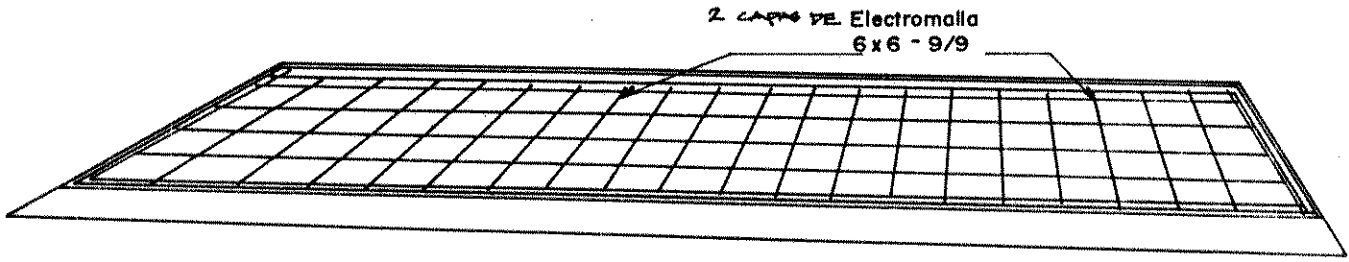
También a los paneles se les colocan varillas de 3/8" de diámetro para anclaje, los cuales van internados 30 cms. en el nervio, saliendo de él con la misma longitud. Estas varillas sirven para amarrar el panel a la solera superior.

A todos los paneles se les deja previsto agarradores de alambre de amarre entorchado, los cuáles servirán para maniobrar el panel, cuando esté fundido y pueda moverse. Estos agarradores van amarrados a los nervios y son de 20 cms. de longitud.

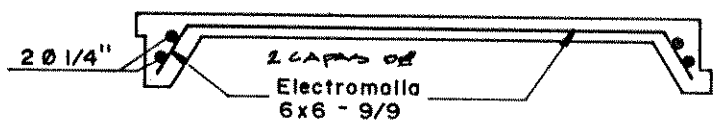
#### \* Referencia No.4



**ARMADO PANELES**



**DIMENSIONES DEL NERVIO**



**SECCION TRANSVERSAL REFUERZO EN NERVIOS**

Figura 3.0 d

## Fundición de Paneles

El mortero propuesto es de una proporción 1:2 en peso, pudiéndose fabricar a mano o con una máquina. Al fundir, se debe tener especial cuidado que el mortero penetre en todos los rincones del panel a fabricar. De igual manera la electromalla se levanta convenientemente de tal forma que el recubrimiento en la placa central debe de ser de 1.5 cms. aproximadamente. De lo contrario, la electromalla queda expuesta exteriormente dando mal aspecto y pudiendo causar corrosión al panel al contacto con la lluvia. A los paneles se les puede dar si se desea un acabado de cernido, o dejarlos rústicos. Para cernirlos lo recomendable es esperar unos 30 minutos después de fundir y se tallan con arena fina y cemento seco. Los paneles tallados, tienen mejor presentación que los rústicos, pero tienen la desventaja ante estos últimos, que no se les puede emparejar o dar reparaciones tan fácilmente en caso de ser necesario.

## Manipuleo de los Paneles

Para poder levantar del molde al panel, y dejar el lugar libre para fabricar otro, se deben esperar como mínimo 36 horas; de lo contrario, podrían ocurrir quebrantamientos en los nervios o la placa central. La forma de levantar los paneles consiste en amarrar tubos de hierro galvanizado de 3.5 cms. de diámetro, al panel, por medio de los alambres entorchados, previamente colocados a los nervios. Estos tubos se colocan atravesando en los lados cortos del panel, con lo cual dos personas pueden sujetar en ambos lados.

## Curado y Almacenaje.

El tipo de curado que se emplea comúnmente consiste en hidratar constantemente los paneles durante un período aproximado de 3 días, colocando los nervios hacia arriba y cubriendo con arena la salida del agua en su parte inferior. Después de este período la hidratación se hace periódicamente 3 horas diarias hasta los 28 días. Para su almacenamiento según experiencias de construcción con ferrocemento, se colocan parales de madera de 8" x 2" x 10' enterrados en el suelo una profundidad de 50 cms. y a una distancia de 2.00 mts. uno del otro. De esta manera el panel puede ser hidratado en sus dos costados, permitiendo un mejor tipo de curado.

## Requisitos del Sistema

Después de un análisis breve de los diferentes niveles de tecnología utilizada en productos para la vivienda hechos de ferrocemento, los resultados del estudio de factibilidad recientemente completado por la universidad de Michigan, donde se consideran técnicas de manufactura avanzadas para la producción de unidades de vivienda usando paneles de ferrocemento sugirió, que los requisitos mínimos de vivienda pudieran satisfacerse, desde una piscina hasta una vivienda formal de tamaño regular. El sistema requiere de un área descrita y necesaria para poder sugerir y ampliar más la investigación.

Se pueden encontrar cuatro clases de sistema de vivienda familiar en los U.S.A. aplicables a nuestro medio: en el sitio de construcción (in situ), modulado, panelizado y hogares móviles. En estos sistema el ferrocemento es el principal material estructural y de construcción. Cada sistema requiere niveles diferentes de tecnología e integración. Para la construcción en sitio se necesita un bajo nivel de tecnología, mientras que el sistema de

panelizado requiere un nivel intermedio de tecnología y el sistema de modulado requiere un nivel alto de tecnología

Modular unidades usando ferrocemento se ha considerado en el pasado pero su uso se ha limitado. Anteriormente se han hecho estudios de viviendas prefabricadas.

Algunos sistemas formados por paneles aún están disponibles hoy en día. Se han revisado cuatro sistemas diferentes para este estudio: un sistema de paneles tipo sandwich integrado con un aislamiento de espuma, el sistema tipo Davis el cual usa principalmente secciones tipo cajón y tipo U; el sistema de pared articulada que utiliza paneles de concreto con refuerzo de malla soldada y el sistema CMS el cual utiliza paneles tipo sandwich integrado con aislamiento de esponja y refuerzo de malla soldada.

Para desarrollar el sistema para esta investigación, fueron tomados los siguientes criterios y requisitos:

- Componentes estructurales livianos para facilitar su transporte, manipulación y levantado.
- Se puede con una pequeña inversión de capital, fabricar paneles estructurales móviles.
- Unidades lo suficientemente flexibles para diferentes tipos y tamaños de casas.
- Versatilidad del sistema para permitir diferentes tipos de acabados, instalación de tuberías y equipos standard.
- Un sistema satisfactorio para unidades múltiples de construcción.
- Un sistema flexible para satisfacer las normas más severas de la construcción.
- Un sistema flexible que permite diferentes acabados, como diferentes texturas en la superficie.
- Utiliza los materiales de la localidad.
- Utiliza la fuerza laboral del sitio, y
- Puede tener una posible producción en serie utilizando técnicas avanzadas de fabricación.

## Resultados del Estudio de Factibilidad Técnica

El estudio de factibilidad se emprendió para evaluar el uso de alta tecnología para la construcción de unidades de vivienda familiar utilizando el ferrocemento como el principal material estructural. Como se mencionó anteriormente un sistema de paneles satisface todas las necesidades importantes en el problema de vivienda. El estudio se dividió en 4 partes principales que son: El método de construcción, el diseño arquitectónico, el análisis y diseño estructural, y la fabricación.

El método de construcción incluye soluciones relacionadas para el transporte, levantado, montaje en el sitio, instalaciones eléctricas, tuberías, conexión para la cimentación o paredes articuladas o con base, y el equipo necesario.

El diseño arquitectónico trata de desarrollar paneles standard, coordinar la modulación, el esquema arquitectónico, los tipos de conexiones, aspectos estéticos, longitud y problemas de transporte. Se debe notar que el sistema de paneles desarrolla las ventajas combinadas de un muro y un sistema de vigas contra los sistemas de paneles no-estructurales o sistemas superficiales. Los paneles tienen la flexibilidad de ser utilizados para reemplazar vigas de entepiso y techos.

El análisis estructural y la parte de el diseño tratan todos los aspectos de análisis y diseño, por cada panel componente, así como un sistema estructural completo. La mayoría de cargas son consideradas incluyendo las cargas vivas, cargas de viento y análisis de estabilidad lateral. El refuerzo mínimo necesario se obtuvo en términos del espacio máximo permisible, asumiendo una carga viva uniforme de  $40 \text{ lb/ft}^2$  ( $1.91 \text{ kN/ m}^2$ ). De modo que, en algunas instancias, el esfuerzo aplicado al ferrocemento en las conexiones internas se reduce a una adición de refuerzo local, o distribuir externamente la carga a

través de una platina o una arandela. No se puede adoptar en la práctica real una solución sin una investigación completa de las características mecánicas de las conexiones.

### Detalles para el Sistema de Vivienda

La solución seleccionada es la de un sistema de pared articulada, donde dichos paneles en las paredes son elementos nervurados. Las dimensiones típicas y otro detalles de los paneles de las paredes son descritos en la figura 3.1. Las aberturas en cada lado de cada panel de las paredes permiten la entrada de las instalaciones eléctricas y las instalaciones de agua potable. Algunos orificios colocados a lo largo de los lados del panel permiten una mejor junta entre ellos.

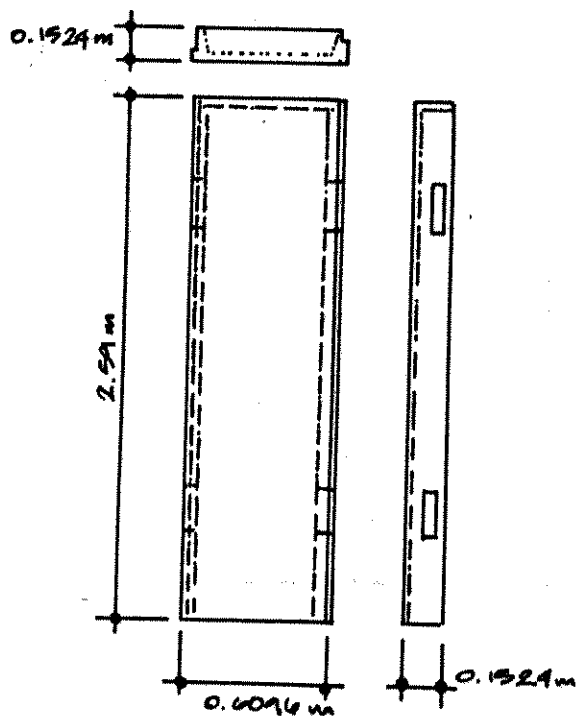


FIG. 3.1

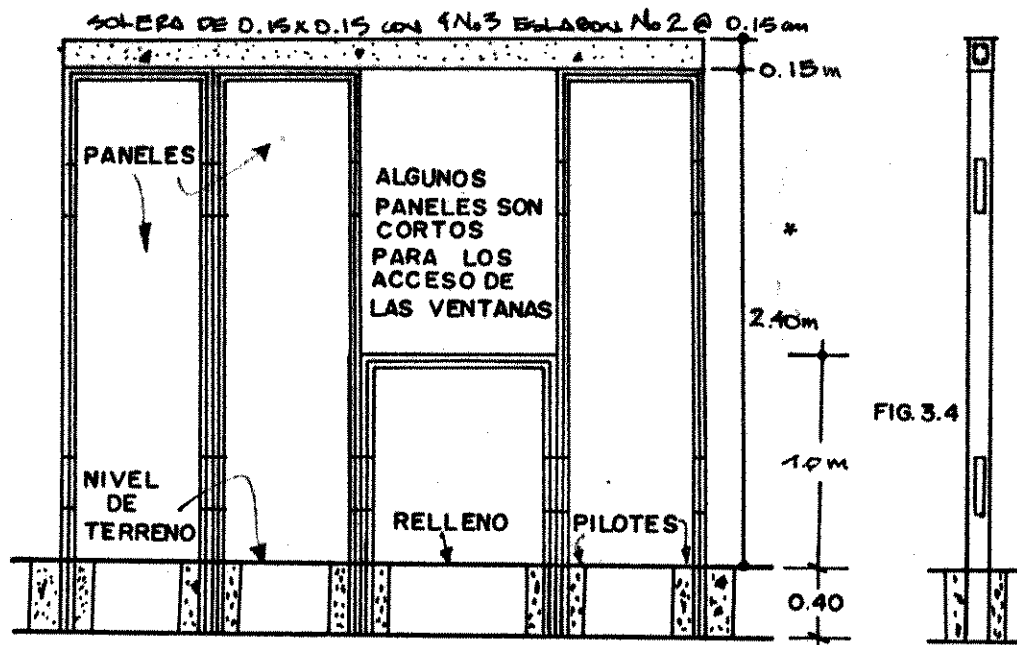
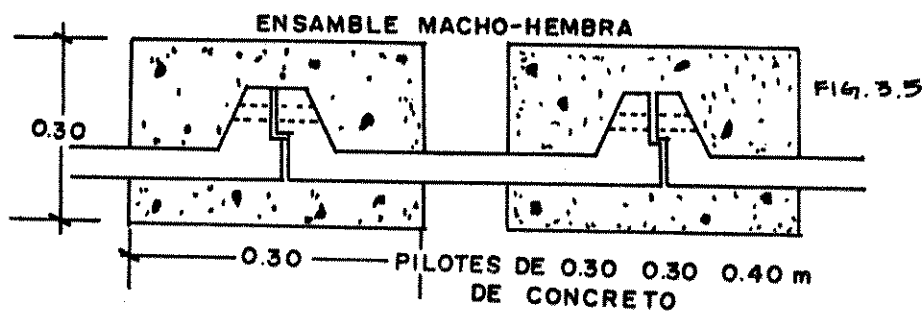


FIG. 3.3

SECCIONES DE ANCLAJE



DETALLE DE ANCLAJE

Los esquemas típicos de cimiento y de acceso son descritos en las figuras 3.3 a 3.5. El posicionamiento relativo de los paneles se describe en la figura 3.6. Para el refuerzo de los paneles, fueron consideradas dos capas de malla de alambre soldado con dos varillas No. 2 a lo largo de los bordes del tablero; las columnas tienen una dimensión de 15 por 15 cm de concreto armado con una varilla No. 3 ; dispuestas en las intersecciones de los muros. Varios esquemas de refuerzo (tipos y tamaños de mallas, número de capas, etc.) son desarrollados en la actualidad para varias combinaciones de espacios y cargas vivas. Un dibujo modelo para desarrollar el sistema es mostrado en la figura 3.7.

\* Referencia No.3



Figura 3.6

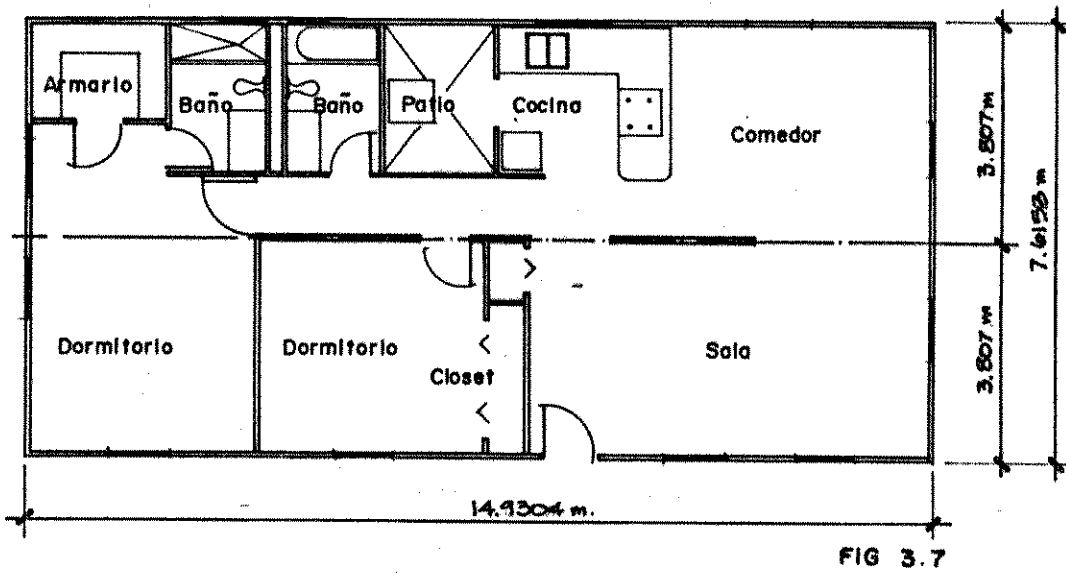
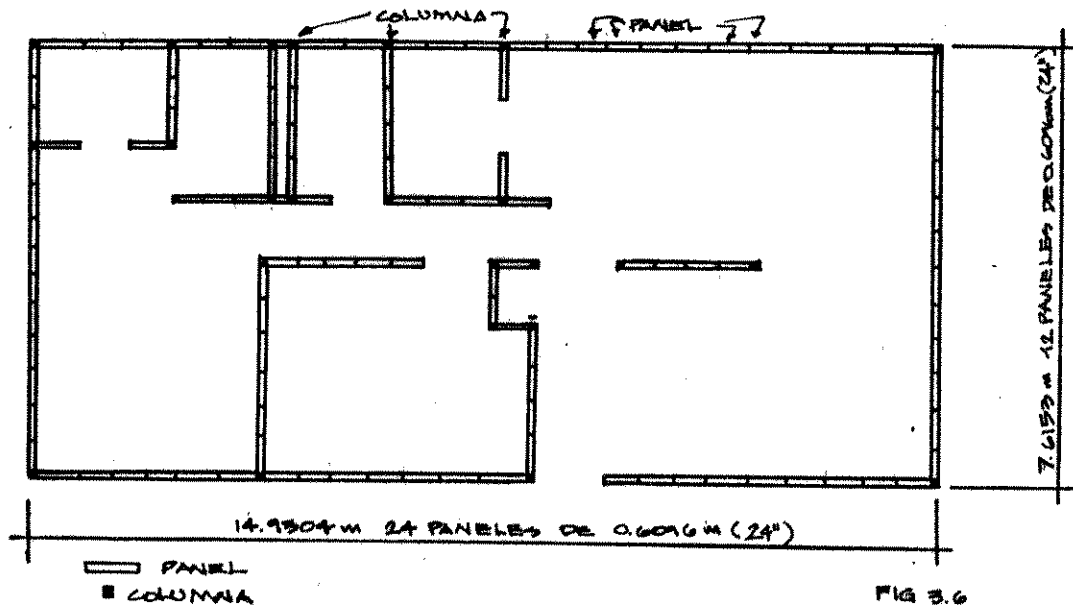


Figura 3.7

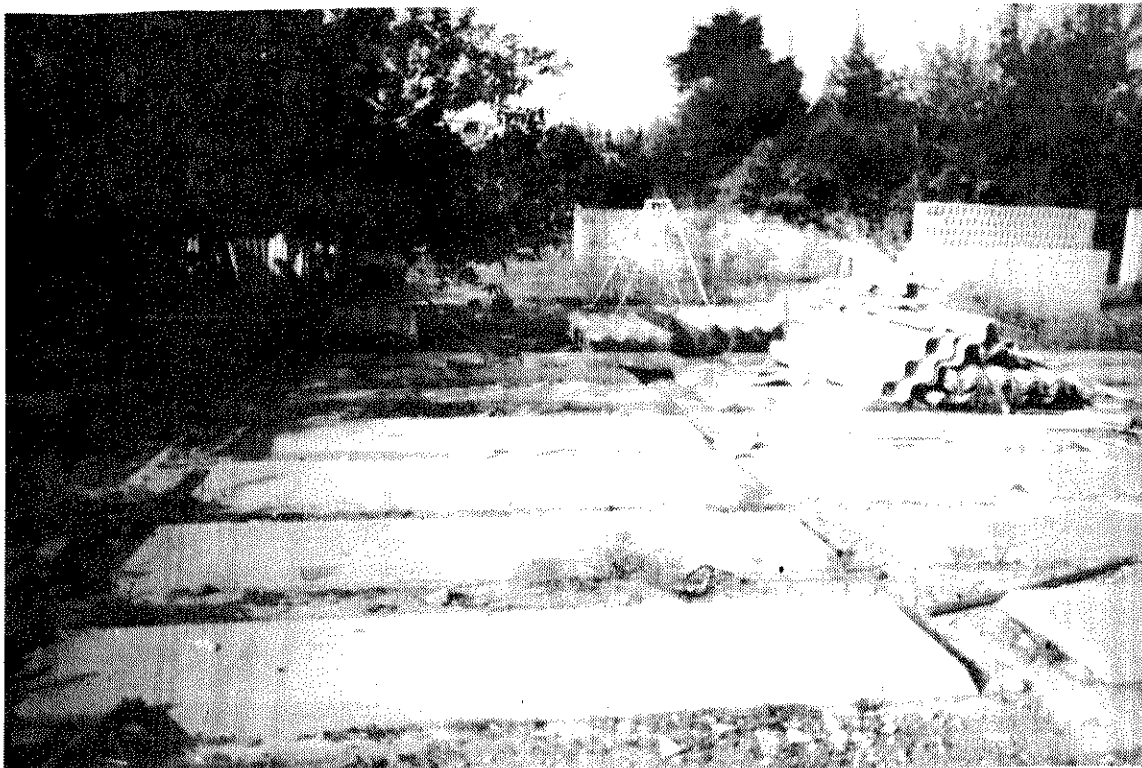
El estudio indica que el problema de las conexiones entre los elementos de ferrocemento consta de poca literatura técnica y debe recibir prioridad en las investigaciones en el futuro. Las conexiones permiten ensamblar los elementos de ferrocemento pudiendo producir superficies con gran precisión y pueden preservarse por largo tiempo y ahorrar dinero si se aprueba estructuralmente.

#### DATOS TÉCNICOS DEL PANEL.

- relación agua/cemento 0.40
- relación cemento/arena 1:2
- $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_m = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Proporcionamiento :
  - 597 kg de cemento/m<sup>3</sup>
  - 1194 kg de arena/m<sup>3</sup>
- $f_y$  (malla) = 4900 kg/cm<sup>2</sup>  
(70,000 psi)
- $A_s = 1.27 \text{ cm}^2$
- $M_u = 390 \text{ kg-m}$
- $P_u = 100 \text{ kg}$
- Vol. de mortero por panel 0.045 m<sup>3</sup>
- Cantidad de malla por panel  
122.52 cm X 260 cm
- Cantidad de varillas No.2 por panel  
(12 mts) 2 varillas No.2 de 20'
- Cantidad de varillas No.3 por panel  
(1 mt) 1 varilla No.3 de 20'por cada 6 panel

#### 4.0 Análisis del Sistema

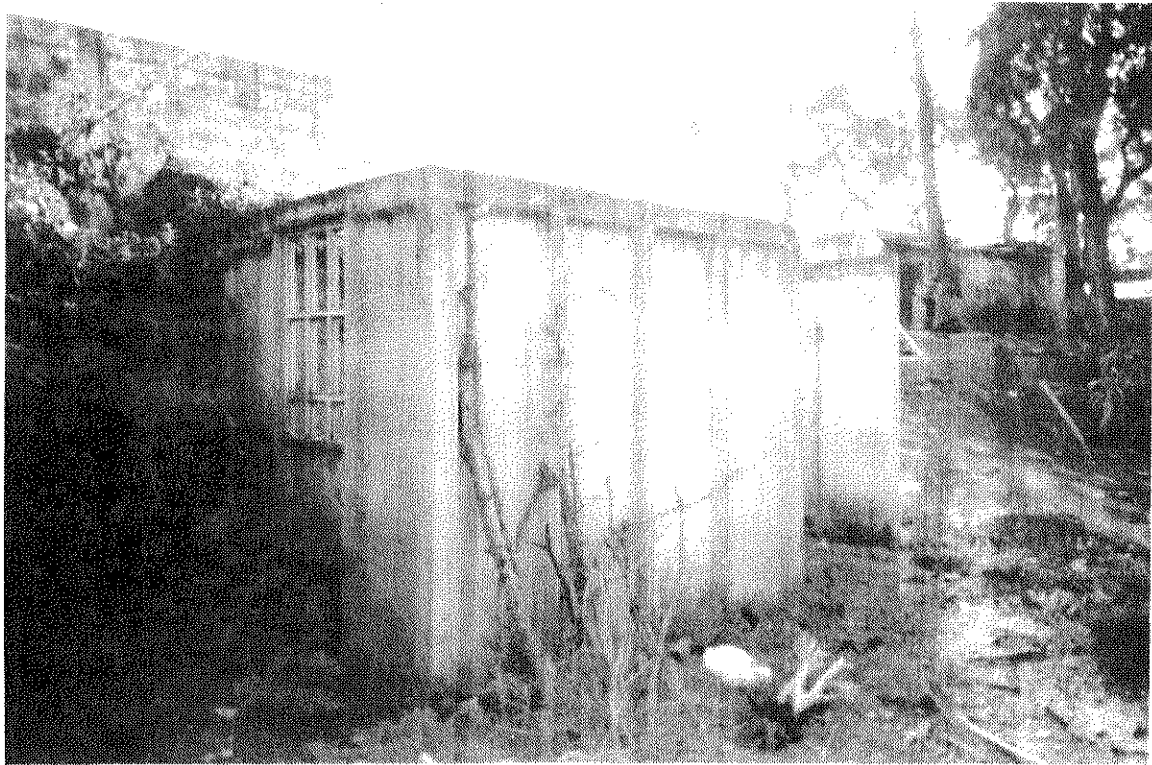
Para realizar este análisis se tomaron en cuenta dos modelos realizados en Guatemala hechos de ferrocemento, el primero es un modelo utilizado hace ya diez años, realizado en las bodegas de la UCEE (Unidad de Construcción de Edificios Educativos), la segunda obra es una escuela rural localizada en Santa Cruz Quixaya, aldea del departamento de Sololá. En el primer modelo analizado, (Fotografía No.1), se pudo encontrar agujeros en algunos paneles debido al manipuleo de los mismos, también algunas “ratoneras” en los nervios, no se encontraron fallas estructurales en los paneles, ni en las juntas panel-panel así como en las juntas panel-solera-columna. Un aspecto que se debe tomar en cuenta en este modelo es el descuido de los moldes ya que no siguió utilizandose el sistema en más proyectos (fotografías No.2 y No.3). En general se concluye que el sistema es funcional, siempre y cuando, se tenga un buen sistema constructivo, una buena supervisión en la fundición y mantenimiento.



Fotografía No.1      Planta de Prefabricación, moldes para paneles utilizados por la UCEE



Fotografía No.2 Vista Interior de un modelo utilizado para ensayos de la UCEE



Fotografía No.3 Vista Exterior de un modelo utilizado para ensayos de la UCEE

El segundo modelo es la escuela rural de Santa Cruz Quixaya. Esta aldea tiene una extensión territorial de 4 Km., se encuentra a 50 Km de la cabecera departamental de Sololá y a 140 Km. de la ciudad capital, a una altura al nivel del mar de 1,500 Mts., con un clima cálido y una población de 850 personas.

Este modelo muestra por completo el sistema estructural ya que se puede observar la unión panel-panel, panel-columna y el cimiento. Se hizo una inspección minuciosa y se observaron ciertas fallas estructurales en los paneles próximos a las esquinas del modelo, sin embargo, estas fallas observadas no eran severas, éstas se produjeron por el sismo ocurrido en Pochuta (1995), de magnitud moderada, según relatos de los maestros que laboran en dicho lugar.

Otro aspecto importante de mencionar es que las juntas entre los paneles permanecen sin ningún problema, así como la junta entre paneles-columna-cimiento. El sistema de cimentación se encuentra en buen estado ya que hasta la fecha permanece estable.

Se debe tomar en cuenta que la funcionalidad del sistema radica en la fundición y manipuleo de los paneles, ya que se observan muchas ratoneras tanto en el centro del panel como en los nervios, pero dichas ratoneras aún se pueden "resanar".

Algunos problemas que tienen en dicha escuela es que el nervio de los paneles es muy corto y por ello, al colocar puertas y ventanas, se rajan inmediatamente los nervios del panel y con ello disminuyen su resistencia. Un inconveniente más es el cernido de los paneles, según experiencias del lugar, el sistema no tiene capacidad de adherencia del repello, ya que se desprende de los paneles. Un aspecto importante es el de la temperatura, que a pesar de la altitud del lugar, los maestros que laboran en el lugar consideran que dicho material proporciona un ambiente menos caluroso que una escuela construida con

blocks y lámina galvanizada, aunque se tiene que tomar en cuenta que el aspecto de la temperatura depende mucho del tipo de techado utilizado.

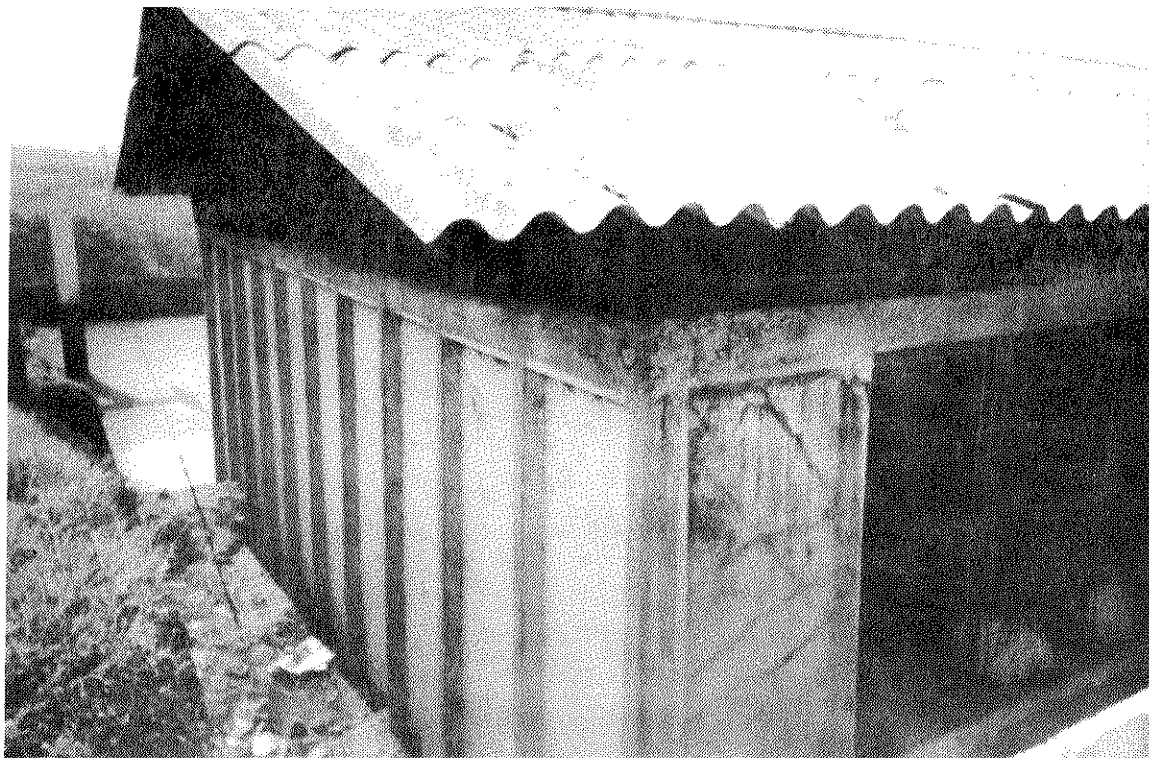
En general el sistema es funcional tanto para la gente del lugar como para el propósito de este trabajo. El modelo expuesto de la escuela rural fue construido hace diez años.

La diferencia entre este sistema y el propuesto consta del doble de refuerzo en el centro del panel y la dimensión de los nervios es mayor, esto ayudará a colocar puertas, ventanas e instalaciones cómodamente por medio de los agujeros previstos en los nervios de los paneles.. Para el problema del repello, se recomienda dejar rústicos los paneles (la escuela se muestra de la fotografía No.4 a la No.7).



Vista Posterior de la escuela rural de Santa Cruz Quixaya, en donde se observan los cimientos y las juntas panel-panel

Fotografía No.4



Vista Posterior derecha donde se observan las fallas en los paneles, la juntas de la esquina y la solera de amarre

Fotografía No.5



En el interior de una aula se observan los daños ocasionados por la colocación de las puertas y la caída de el repello

Fotografía No.6



**Vista general de la escuela rural de Santa Cruz Quixaya**

**Fotografía No.7**

**Recomendaciones Constructivas para el Sistema de Vivienda**

Primeramente se debe preparar el área del edificio a construir, se nivela y se hace el trazo de la forma como se acostumbra en un sistema convencional. Luego se hace una excavación de la zanja de cimiento de 300 mm. de ancho y 400 mm. de profundidad mínima; en el caso de que se utilice solera inferior, ésta se funde, dejando perfectamente nivelado el fondo de la zanja a todo el largo de el muro. En caso de no utilizarla debe nivelarse el fondo con material del lugar.

Los paneles se colocan por izaje o por deslizamiento, colocando uno a uno sobre el fondo de la zanja nivelada apuntalándolos de manera apropiada. Al concluir de levantar los paneles debe chequearse con plomada el muro. Debe tenerse especial cuidado en que



la junta entre paneles sea regular a lo largo de la unión entre ellos, para que exista continuidad.

El próximo paso consiste en armar y fundir columnas, las cuales irán en las intersecciones de los muros. La sección de cada columna será de 150 x 150 mm. como mínimo, reforzadas con un área de acero no menor que  $1.27 \text{ cm}^2$ .

A continuación se funde la solera superior, a la cual debe integrarse la parte superior de las planchas, por medio de los hierros de amarre que salen de los nervios longitudinales.

En lo que concierne al techo, tipo de armadura y costaneras, cubierta, piso e instalaciones, pueden realizarse con las formas tradicionales conocidas.

Recomendaciones útiles para realizar un montaje adecuado:

- 1) Es obvio que se debe de disponer de planos, plantas y fachadas en los cuales se indiquen con precisión los paneles y su posición.
- 2) Dibujos en los que se indique con claridad las diferentes etapas de montaje.
- 3) En el montaje de los paneles se puede principiar desde una esquina, la cual servirá de punto de partida y apoyo fijo y sus lados de ejes coordenados de referencia.
- 4) Los paneles se unirán lateralmente, amarrándolos convenientemente de los hierros de anclaje y se apuntalarán con objeto de evitar su caída, además de posibles accidentes (es conveniente indicar que los paneles estarán en la excavación preparada de antemano y con su plantilla).
- 5) Antes de fundir la cimentación, los paneles deberán estar perfectamente alineados y verificada su verticalidad.
- 6) A continuación se procederá a la fundición del cimiento y el apuntalamiento no se suprimirá hasta que el concreto de la cimentación tenga la resistencia adecuada.

## CONCLUSIONES

- Los materiales básicos empleados en la fabricación se pueden obtener fácilmente; los elementos que se fabrican tienen un espesor muy pequeño, por lo tanto disminuyen las cargas muertas, a dichos elementos se les puede dar prácticamente cualquier forma de acuerdo con la necesidad o el deseo del usuario; la capacitación de la mano de obra necesaria es rápida y fácil.
- El sistema tiene las cualidades de un elemento prefabricado ideal, es decir, que se pueden producir elementos en una fábrica con procedimientos de producción en serie o al pie de la construcción, con mano de obra elemental y sin requerir instalaciones y maquinaria pesada.
- A pesar de que los elementos construidos son de pequeño espesor, tienen un alto grado de impermeabilidad como se ha demostrado en los cascos de los barcos, tanques de almacenamiento, forros de canales, etc.
- La etapa más crítica de todas es la fundición de los paneles de ferrocemento debido a que los elementos son de poco espesor y como se sabe, el concreto es un material muy frágil, una mala fundición causaría "ratoneras", disminuyendo su resistencia, las otras etapas críticas son el manipuleo y el curado.
- Según el estudio realizado a los modelos para el análisis del sistema, se observó que el 85% de los paneles se encuentran en buenas condiciones, el restante 15% tiene ciertas fallas estructurales causadas posiblemente por el sismo ocurrido en Pochuta o por el transporte de los paneles hasta el lugar de construcción.
- El sistema cumple con los requisitos propuestos en este trabajo ya que con la ayuda de los modelos del análisis se pudo comprobar que después de más de 10 años de uso aún es funcional y se mantiene en operación.

## RECOMENDACIONES

- El desarrollar una guía que involucre métodos de análisis y diseño simplificado, y procedimientos constructivos que den resultados eficientes y económicos, sería una forma de impulsar su uso en Guatemala.
- La producción, de preferencia, debe realizarse dentro de la construcción, de esta forma se aprovecha el concreto de los moldes como piso, al ser rellenado convenientemente.
- Determinar las características mecánicas de todas las mallas disponibles en el medio Guatemalteco para aplicar los parámetros resultantes.
- Supervisar detalladamente el sistema propuesto en la etapa de fundición debido a que las fallas en dicha etapa son críticas para todo el sistema.
- Seguir desarrollando nuevas formas de paneles para ir mejorando el sistema, tanto estructural como estéticamente para que se adecúen cada vez más a las necesidades del usuario y así poder llegar a competir en el mercado con una producción en serie.
- Investigar a profundidad este tema, ya sea por medio experimental o por experiencias en otros países, esto con el fin de mejorar y darle seguimiento al sistema de ferrocemento usado en Guatemala.

## REFERENCIAS

1. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas de México  
Ferrocemento, El Elemento Más Viable de Países en Desarrollo  
Caminos Rurales año 1, No.1 Julio 1,980
2. Paul & R.P. Pama  
Ferrocement  
International Ferrocement Information Center  
Publication No.5/78, August 1,978
3. Quiñonez, Francisco Javier  
Construcción de una escuela rural con paneles de ferrocemento  
Centro de Investigaciones de Ingenieria Universidad de San Carlos de Guatemala,  
Guatemala. Agosto 1,985  
Publicación 8/85,
4. Valenzuela Villanueva, Edgar Fernando  
Consideraciones y evaluaciones de un sistema constructivo de edificios educativos en  
base a paneles de ferrocemento  
Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1,987  
Tesis de graduación de Ingeniero Civil

## BIBLIOGRAFIA

- Olivera López, Alfonso  
El Ferrocemento y Sus Aplicaciones  
Instituto Politécnico Nacional  
México, 1,985
- B.K. Paul & R.P. Pama  
Prefabricated Ferrocement Housing  
Journal of Ferrocement Vol 13, No.1 January 1,983
- B.K. Paul & R.P. Pama  
Third International Symposium of Ferrocement  
Journal of Ferrocement Vol.19, No.2 April 1,989
- Valenzuela Villanueva, Edgar Fernando  
Consideraciones y evaluaciones de un sistema constructivo de edificios educativos en base a paneles de ferrocemento  
Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1,987  
Tesis de graduación de Ingeniero Civil
- Monzón Sevilla, Manuel Francisco  
Situación actual del ferrocemento de acuerdo con el comité 549 ACI y algunas aplicaciones estudiadas en Guatemala  
Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1,986  
Tesis de graduación de Ingeniero Civil
- B.K. Paul & R.P. Pama  
Journal of Ferrocement  
Vol. 18, No.1, January 1,988