

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO

APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA CONSTRUCCION

ING. JOSE ANTONIO CORTINA SUAREZ  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION  
I N F O N A V I T  
BARRANCA DEL MUERTO NO. 280  
MEXICO, D.F.  
TEL. 524.63.59

ING. ALFONSO OLVERA LOPEZ  
DIRECTOR DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
ESC. SUP. DE ING. Y ARQ.  
I. P. N.  
EDIF. 9 LAB. PESADO  
UNIDAD PROFESIONAL ZACATENCO  
MEXICO 14, D.F.  
TEL. 586.01.44

ING. ROGERIO ZUBIETA CARDENAS  
INVESTIGADOR  
INSTITUTO DE INGENIERIA  
U. N. A. M.  
MEXICO 20, D.F.  
TEL. 550.05.06

CURSO: APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA CONSTRUCCION

	JUEVES 23	VIERNES 24	SABADO 25	
9-13h	Ing. R. Zubieta 1. Introducción 2. Definición 3. Principios generales de diseño 4. Principios generales de construcción 5. Aplicaciones hidro-sanitarias	Ing. Alfonso Olvera - Vivienda integral - Embarcaciones	Ing. R. Zubieta - Aplicaciones industriales - Cubiertas - Tanques - Aplicaciones potenciales	9-14h
14-16 h	Ing. R. Zubieta - Elementos estructurales para la vivienda	Ing. R. Zubieta - Aplicaciones en el medio rural		
16-18 h	Ing. Antonio Cortina - Costos y aspectos económicos			



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA  
CONSTRUCCION

APLICACIONES POTENCIALES Y USOS ACTUALES DEL  
FERROCEMENTO

ING. ROGERIO ZUBIETA CARDENAS

NOVIEMBRE, 1978.

1. APLICACIONES POTENCIALES Y USOS ACTUALES DEL FERROCEMENTO	1
2. EMBARCACIONES	5
3. CUBIERTAS	10
4. TANQUES	16
5. UNIDADES HIDROSANITARIAS	20
6. SILOS	28
7. CANALES	34

## 1. APLICACIONES POTENCIALES Y USOS ACTUALES DEL FERROCEMENTO

### 1.1 APLICACIONES POTENCIALES

En la historia del ferrocemento pueden distinguirse: la invención y primeras utilizaciones cuyo mérito corresponde indiscutiblemente a J. L. Lambot, en Francia, en 1843, y su estudio, desarrollo y aplicación más amplia, cuyo mérito corresponde a P. L. Nervi, en Italia, cien años más tarde. A partir de los trabajos del Prof. Nervi el ferrocemento ha atraído la atención mundial por las amplias posibilidades que ofrece en lo que se refiere a aplicaciones estructurales. Según un reporte de la Academia Nacional de Ciencias de Washington D. C éstas comprenden:

- Embarcaciones de carga y pesca
- Remolcadores y Barcazas
- Puentes
- Muelles y marinas
- Recipientes permanentes para almacenar alimentos
- Almacenamiento de semillas (vegetales, etc)
- Almacenamiento de almidón, harina, azúcar
- Almacenamiento de forrajes
- Almacenamiento de aceites comestibles (oliva, cacahuete, semilla de algodón, palma, etc)
- Almacenamiento de granos (arroz, trigo, maíz, sorgo, mijo, etc)
- Cubas de remojo de mandioca
- Tanques de fermentación de cocoa, café, etc
- Tanques de enriamiento para henequén, yute, cáñamo, etc

- Tanques para gas (líquido y natural)
- Torres de enfriamiento
- Canalizaciones para drenaje, piletas, fosas sépticas y otras instalaciones para tratamiento
- Canalones
- Equipos para procesamiento de cueros
- Cubas para teñir
- Secadores de grano
- Secadores de copra
- Invernaderos, empacadoras y mesas de secado
- Plataformas para secar té, café, cocoa, cocos, otras semillas oleaginosas, pimienta, especias, etc)
- Comederos y bebederos para ganado
- Baños para ganado
- Depósitos para agua potable o de riego
- Tuberías y conductos de irrigación
- Hornos y hogares
- Losas o tejas para techos
- Tableros y losetas decorativas
- Entablero de muros
- Pisos
- Postes para líneas de transmisión de energía o de teléfonos
- Revestimientos interiores para túneles y minas

- Estacas para soporte de vides, plantas de tomate, de frijol, etc (para resistencia a las termitas)
- Reparación de baches (cuadros de ferrocemento a la medida y colocados en el agujero)
- Recintos para tratamiento de madera
- Persianas y encofrados para uso en construcción normal de concreto

## 1.2 USOS ACTUALES

El ferrocemento ya ha venido siendo empleado en una parte importante de los campos mencionados en la lista anterior, y entre aquellos en los cuales su uso se ha difundido más ampliamente pueden citarse:

- Embarcaciones
- Cubiertas
- Tanques
- Unidades Hidro-sanitarias
- Silos
- Canales

La forma en la que se ha utilizado este sistema constructivo en las diversas áreas anotadas en la última relación, se describe en las secciones siguientes.

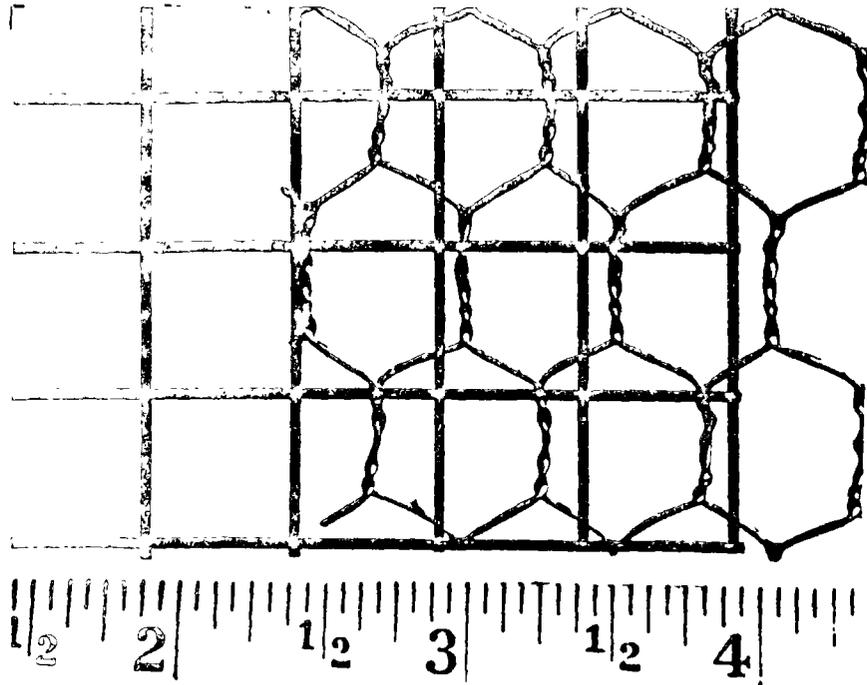


Fig 1. Mallas de uso común en ferrocemento

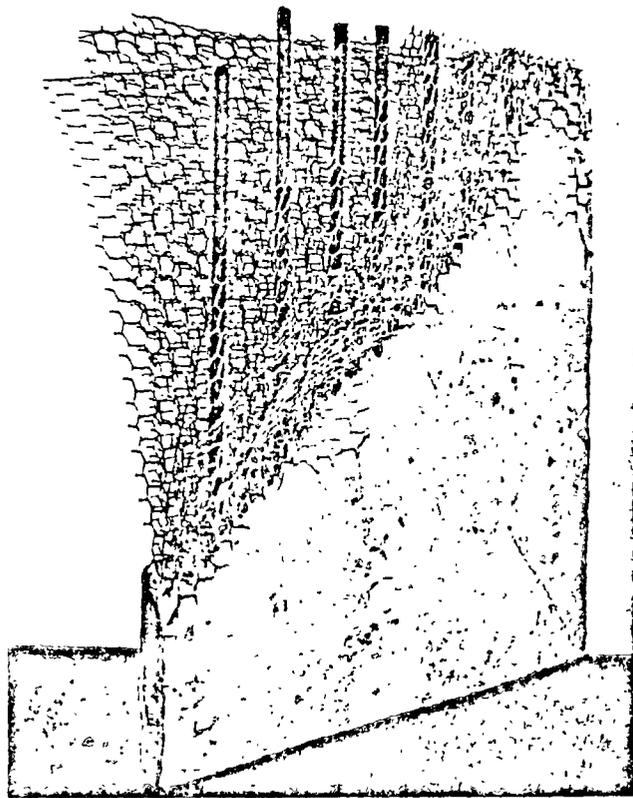


Fig 2. Sección típica de un elemento de ferrocemento

## 2. EMBARCACIONES

### 2.1 ANTECEDENTES

La primera aplicación conocida del ferrocemento fue la construcción de un pequeño bote de remos por J. L. Lambot en 1843. Un siglo después el Prof P. L. Nervi construyó tres navíos de 150 ton para la Armada Italiana. A la fecha es difícil conocer con exactitud el número de embarcaciones que se han construido en el mundo según este sistema, pero puede estimarse que existen entre 500 y 1 000 unidades de este tipo.

Por su impermeabilidad y ductilidad, así como por la facilidad que ofrece para la construcción de superficies curvas, el ferrocemento resulta adecuado para su utilización en este campo.

### 2.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

Se han construido con éxito embarcaciones de ferrocemento de muy diversos tamaños. Desde el bote de M. Lambot de 3.60 m de largo hasta unidades de 25 m de eslora aproximadamente. Se acepta sin embargo, de una manera general, que para dimensiones inferiores a 7 m el peso resulta un factor adverso, y se reconoce, por otra parte, que el sistema puede emplearse para la construcción de embarcaciones mayores, previa ampliación en la investigación y conocimiento de sus propiedades.

Para longitudes mayores de 9 m el costo del casco es normalmente menor en ferrocemento que en madera, metal o fibra de vidrio, pero debe tenerse en cuenta que el costo del casco rara vez representa más de la tercera parte del costo de la

embarcación completa.

Son ventajas del sistema:

La mayor disponibilidad de espacio que resulta de la supresión de mamparas interiores.

La resistencia al fuego, que es la mayor de todos los materiales empleados en la construcción de embarcaciones.

El mantenimiento reducido en comparación con cascos de madera o metal.

Y la facilidad de reparación en caso de daño.

### 2.3 DISEÑO

El casco de una embarcación es una estructura que debe soportar satisfactoriamente las condiciones de carga a las que se verá expuesta. Tratándose de embarcaciones de dimensiones modestas, para uso en aguas tranquilas, y en donde un accidente no implica necesariamente el riesgo de pérdida de vidas el diseño puede basarse en un análisis estático de la estructura considerada en reposo adoptando un margen de seguridad amplio de acuerdo con la experiencia para cubrir el efecto de todas las otras acciones no consideradas. En embarcaciones de mayor importancia, para navegación en alta mar, y en donde el riesgo de pérdida de vidas es grande, es necesario cuantificar con precisión las cargas a las que se verá sometida la estructura y diseñar en consecuencia. Entre las acciones más importantes que se presentan pueden mencionarse: empuje hidrostático, peso propio, carga,

oleaje, aceleración, fuerzas de remolque, propulsión, empuje hidrodinámico de líquidos contenidos, agua sobre cubierta, impacto por colisión con remolcadores, embarcaciones o muelles, etc.

## 2.4 CONSTRUCCION

Diseñada la embarcación, y elaborados los planos correspondientes, puede procederse a la construcción del casco.

El procedimiento de fabricación más comúnmente empleado utiliza para definir la geometría del casco una armazón de tubos soldados cuyo diámetro varía entre 1/2 y 1". Sobre estos tubos se disponen en sentido longitudinal varillas de refuerzo de 4 a 12 mm de diámetro separadas entre sí de 5 a 10 cms y amarradas a los tubos verticales. La estructura así formada se recubre por cada lado con 3 o 4 capas de tela de alambre y queda dispuesta para la aplicación del mortero.

El conjunto descansa sobre una plantilla y se detiene lateralmente por medio de puntales. Puede también suspenderse de una estructura superior. Para la aplicación del mortero se construyen los andamios necesarios y éste se aplica generalmente por un lado forzándolo a pasar a través de la malla, y aplanándolo después por ambas caras. El espesor del casco varía entre 1 cm y 2,5 cms aproximadamente, de acuerdo con las dimensiones. Es de la mayor importancia lograr una penetración absoluta y la ausencia total de vacíos, por lo cual se utiliza normalmente en esta operación algún pequeño vibrador de superficie.

Posteriormente a la aplicación del mortero es necesario asegurar un buen curado, para lo cual debe evitarse la exposición directa a los rayos solares y a los vientos fuertes, y mantener húmedo el casco durante 4 semanas.

Se procede luego al pulido del casco con piedra de carborundum o con papeles abrasivos hasta obtener una superficie suficientemente lisa, hecho lo cual se remueve el polvo, y se aplican dos capas de pintura epóxica.

En los últimos 10 años se han desarrollado numerosas variantes a la técnica constructiva antes descrita, que puede considerarse como tradicional, buscando lograr la máxima economía, plazos de construcción más cortos y mejor calidad en el producto terminado. Estos procedimientos son aplicables principalmente para la producción en serie y utilizan un molde, macho o hembra, para todo el casco; con ellos se hace innecesaria la armazón de tubos soldados, y el mortero puede aplicarse neumáticamente.

En general, el impacto en un casco de ferrocemento causa un daño menos extenso que en cascos de madera o de fibra de vidrio, y es difícil que llegue a producir una perforación total. Para la reparación se siguen básicamente los mismos procedimientos que se emplean en las estructuras de concreto y si el daño se produce por debajo de la línea de flotación pueden utilizarse cementos de fraguado instantáneo.

Cabe señalar que compañías importantes dedicadas al registro y clasificación de embarcaciones, tales como Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping y Der Notske Veritas, han normalizado ya, tentativamente, la construcción de este tipo de embarcaciones.

Actualmente navegan en aguas de nuestro país veinte barcos pesqueros de ferrocemento de 16.6 m. de eslora comprados en Cuba en 1975.

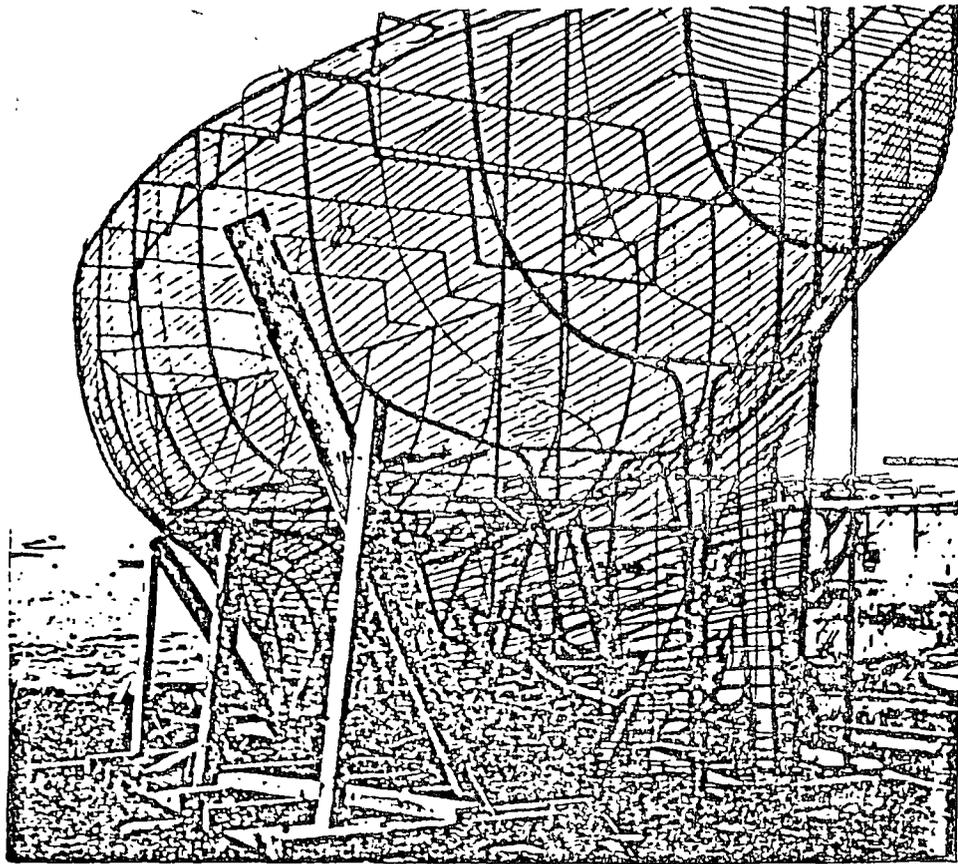
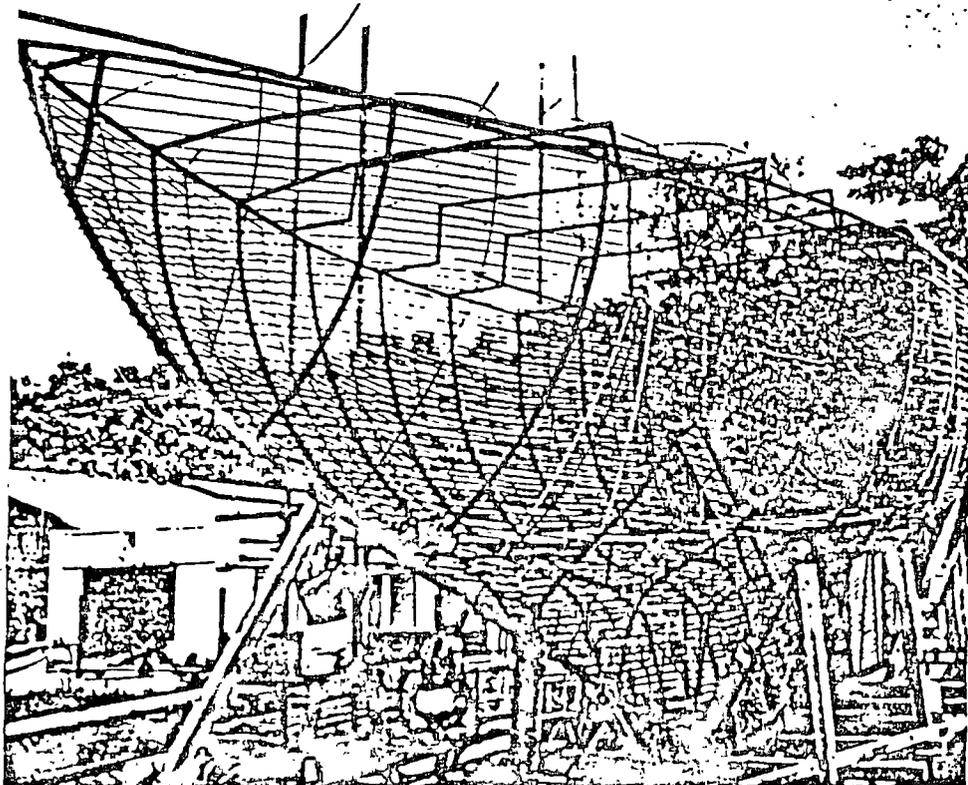


Fig 3. Disposición del Refuerzo



### 3.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

El ferrocemento es aplicable en cubiertas siempre que se disponga de libertad para adoptar formas que ayuden a la resistencia y permitan el empleo de espesores pequeños. Puede utilizarse tanto en techumbres para viviendas de bajo costo como en cubiertas de gran claro para instalaciones industriales u otros usos. El Prof. P. L. Nervi ha estudiado el proyecto de una cubierta para hangar, de 300 m de claro con miras a establecer los límites del sistema.

La construcción en ferrocemento resulta interesante por la economía, facilidad de empleo y versatilidad. Es interesante también desde el punto de vista arquitectónico ya que permite una libertad casi ilimitada en la creación de formas.

El peso reducido facilita las operaciones de montaje y se traduce en una economía en los muros o elementos de soporte y en las cimentaciones. Por otra parte, la distribución del refuerzo dentro del mortero asegura una alta resistencia al agrietamiento y un buen grado de impermeabilidad.

### 3.3 DISEÑO

Un aspecto importante en el diseño de cubiertas de ferrocemento es la elección de la forma. En techumbres para vivienda se utilizan generalmente placas o tejas con sección transversal plegada u ondulada, o en forma de greca; se utilizan también pequeños domos en algunas ocasiones. Para claros algo mayores se emplean cascarones cilíndricos, conoides y formas de este género. En las cubiertas de gran claro son generalmente el arco y la bóveda las formas más adoptadas.

Las configuraciones anteriores permiten una utilización bastante eficiente de los materiales y mediante el empleo de este sistema constructivo pueden realizarse sin

### 3. CUBIERTAS

#### 3.1 ANTECEDENTES

La primera estructura de edificación realizada con este sistema fue una bodega experimental construida por Nervi y Bartoli en 1946.

El Profesor Nervi construyó posteriormente, en 1947, una cubierta en forma de bóveda corrugada de 16 m de claro para la Feria de Milán, y más adelante el Salón de Exposiciones de Turín, de 98 m de claro y el Recinto Deportivo de Roma en forma de domo de 60 m de claro, que constituyen las dos aplicaciones más importantes del sistema.

La Nave para Exposiciones de Turín se construyó utilizando como cimbra piezas onduladas prefabricadas de ferrocemento, de 4.5 m de longitud y de 2 a 5 cm de espesor montadas sobre un andamio tubular ligero. Estas piezas pasaron luego a formar parte de la estructura permanente formada por arcos monolíticos de concreto reforzado colados a lo largo de las crestas y valles de las piezas onduladas.

El Recinto Deportivo de Roma se construyó de manera semejante, estando constituida la estructura resistente por una lámina integrada a base de piezas prefabricadas de ferrocemento utilizadas como cimbra y una capa monolítica de concreto reforzado colada encima de ellas.

El ferrocemento puede utilizarse también constituyendo por si mismo la estructura sustentante principal, en este caso las cubiertas se diseñan en forma de cascarones cilíndricos o de doble curvatura, losas o arcos plegados u ondulados y configuraciones semejantes. De esta manera, ha sido empleado en Polonia, Checoslovaquia y en la Unión Soviética desde 1957 aproximadamente.

un incremento apreciable en el costo.

Un ejemplo de esta forma de utilización lo constituye un elemento de cubierta de 15 m de claro desarrollado y ensayado en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. bajo el patrocinio de la Dirección General de Edificios de la Secretaría de Obras Públicas.

El elemento consiste en un arco parabólico atirantado formado por una lámina delgada de ferrocemento con doble ondulación transversal.

El arco soporta su propio peso básicamente a compresión axial, y los momentos flexionantes que introducen las cargas accidentales resultan moderados. El elemento se construye con un ancho de 2.50 m y cubre un área de 37.5 m<sup>2</sup>.

El espesor de la lámina de ferrocemento es de 3 cm y la resistencia del mortero es de 300 kg por cm<sup>2</sup> a los 28 días. El armado lo constituyen dos capas de metal desplegado E-10-22 completadas con refuerzos de alambre de 4 mm de diámetro en ambas direcciones.

Las cantidades de material por metro cuadrado de superficie horizontal cubierta son las siguientes:

Mortero: 0.04 m<sup>3</sup>

Malla y alambre: 5.5 kg

Para atirantar el arco, que remata en sus extremos en dos pequeñas vigas de apoyo de concreto reforzado, se emplean dos tensores horizontales anclados en estas vigas y formado cada uno de ellos por un cable de presfuerzo de 9.5 mm (3/8") con un templador en un extremo.

Los elementos adyacentes se unen entre sí colando un pequeño volumen de

mortero en el que se ahogan alambres de refuerzo dejados a este fin en los bordes longitudinales. Estas líneas de conexión pueden también permanecer abiertas y utilizarse para la iluminación natural del interior mediante tragaluces.

Una variante del elemento resulta de introducir una articulación en la clave. En esta forma se simplifica la prefabricación a cambio del trabajo adicional que representa la construcción de la articulación central ofreciendo así una alternativa para adaptarse a las condiciones locales de trabajo. La articulación se resuelve insertando dos pequeñas placas de neopreno entre dos diafragmas que se aseguran entre sí con dos pernos de 5/8".

El ferrocemento puede utilizarse también en cubiertas suspendidas.

### 3.4 CONSTRUCCION

Las cubiertas de ferrocemento pueden construirse in situ o a base de elementos prefabricados, ya sea en planta o a pie de obra.

Para la construcción in situ no es necesario usar cimbra. En este caso el sistema de mallas metálicas se integra sobre una armazón de tubos y varillas de pequeño diámetro apoyada sobre una obra falsa ligera, con lo que se obtiene la rigidez necesaria durante la aplicación y el fraguado del mortero. El mortero, con la consistencia adecuada, se aplica directamente sobre las mallas, ya sea manual o neumáticamente, deteniéndose en ellas por la trabazón mecánica que le ofrecen.

Para la prefabricación, el molde puede construirse también de ferrocemento en la forma antes descrita.



Fig 5

*Aplicación manual del mortero de cemento-arena directamente sobre la malla de refuerzo.*

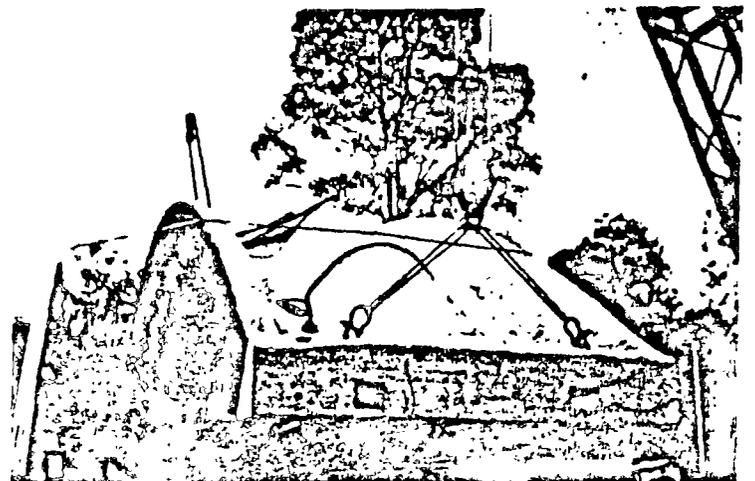


*Fabricación in situ; colocación del concreto en la cimbra de la viga de apoyo. La malla de refuerzo ya se encuentra en su posición para que, una vez terminado el apoyo, se aplique el mortero.*

Fig 6.

*Montaje de una sección prefabricada de ferrocemento.*

Fig 7.



## 4. TANQUES

### 4.1 ANTECEDENTES

En la primera solicitud de patente presentada por M. Lambot, en 1855, se señalaba la aptitud de este sistema constructivo para su empleo en la construcción de cajas de agua. Esta aplicación, sin embargo, no se desarrolló ampliamente sino en los años recientes.

### 4.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

En Nueva Zelanda se han construido en planta tanques de ferrocemento con capacidades desde 1,000 hasta 20,000 l aproximadamente, y tanques mayores se construyen in situ con el mismo sistema que se utiliza en la planta. La impermeabilidad, la durabilidad y la economía son las principales ventajas del ferrocemento en este campo.

### 4.3 DISEÑO

Los tanques de ferrocemento se construyen generalmente de forma cilíndrica y eje vertical.

La presión interna del agua genera esfuerzos de tensión en las paredes y estos esfuerzos se toman con una espiral de alambre de refuerzo cuyo paso y el diámetro del alambre se determinan de acuerdo con el diámetro y la altura del tanque. El amado se completa con capas de tela metálica, reforzando especialmente la parte inferior de las paredes para absorber los esfuerzos adicionales que se presentan durante las maniobras.

El piso del tanque puede variar en espesor de 6 a 10 cms según las dimensiones del tanque y un armado típico consiste en varillas de 3/8" a 20 o 25 cms en ambas direcciones.

#### 4.4 CONSTRUCCION

En general la construcción se realiza sobre un molde interior que se arma sobre la losa de piso. Las paredes pueden construirse aplicando primero una capa de mortero sobre el molde, colocando luego el refuerzo y terminando luego la colocación del mortero hasta alcanzar el espesor total o se puede también colocar el refuerzo directamente contra el molde, y aplicar todo el espesor del mortero en una sola operación. El acabado final de la cara interna se dá después de haber retirado el molde.

El mortero se puede aplicar manual o neumáticamente.

En los tanques cerrados en la parte superior, la tapa puede ser plana o cónica, y el espesor varía de 40 a 50 mm.

Algunas varillas del armado del piso se prolongan verticalmente a través de las paredes hasta el exterior para constituir las argollas de izado necesarias.

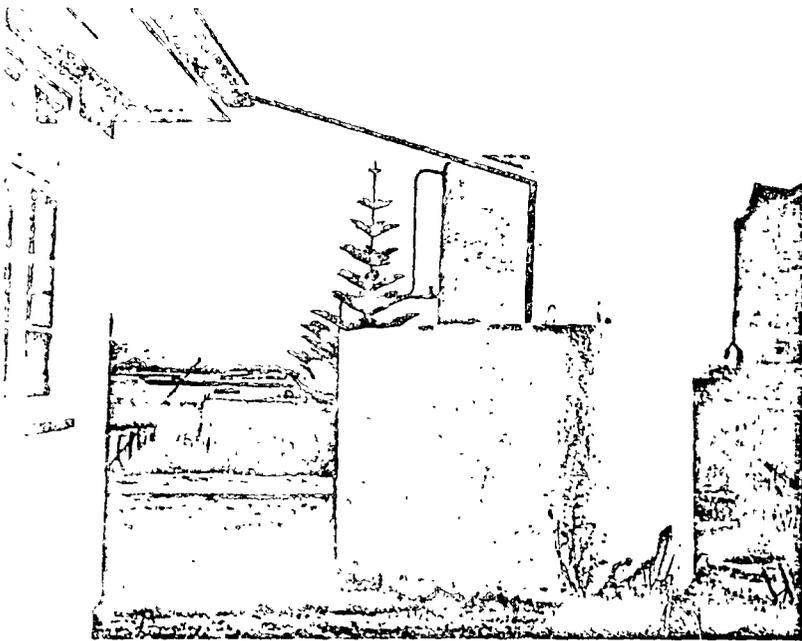


Fig 8. Tanque doméstico de ferrocemento con capacidad para 500 gal, que se llena aprovechando la precipitación pluvial (Nueva Zelanda)

Fig 9. Tanques de 5000 gal en proceso de construcción

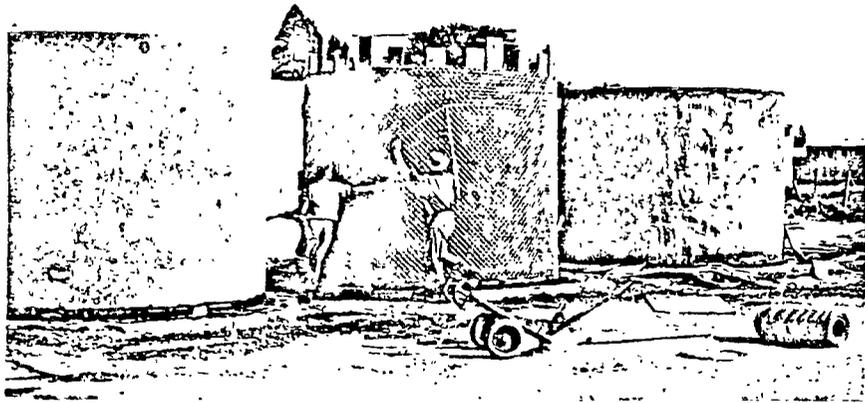
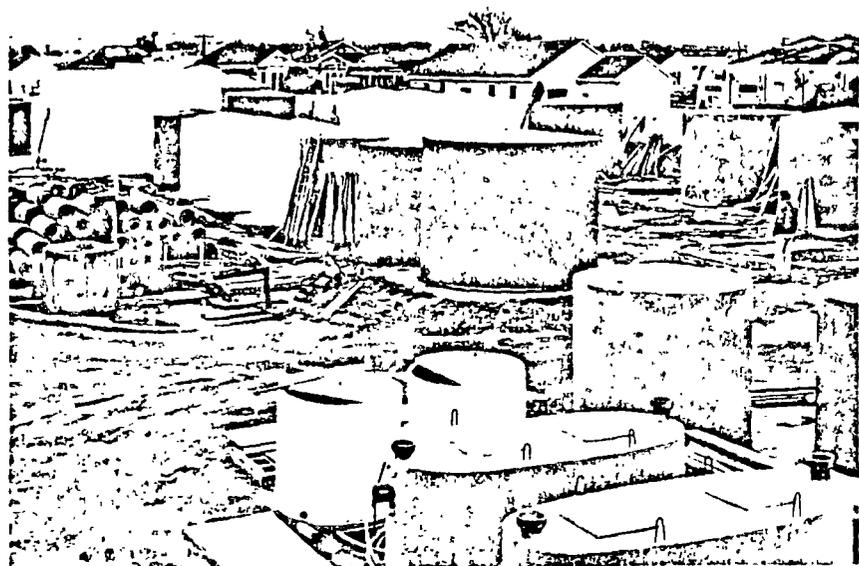


Fig 10. Campo típico en Nueva Zelanda para construcción de tanques de ferrocemento (200 a 5000 gal)



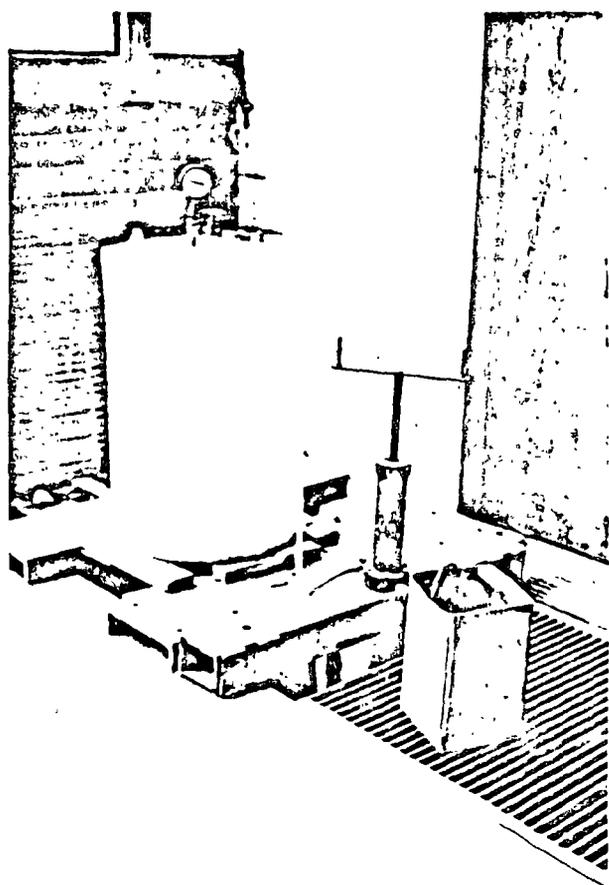


Fig 11.

Modelos de tanques de ferrocemento  
en la etapa de prueba  
Instituto de Ingeniería, UNAM

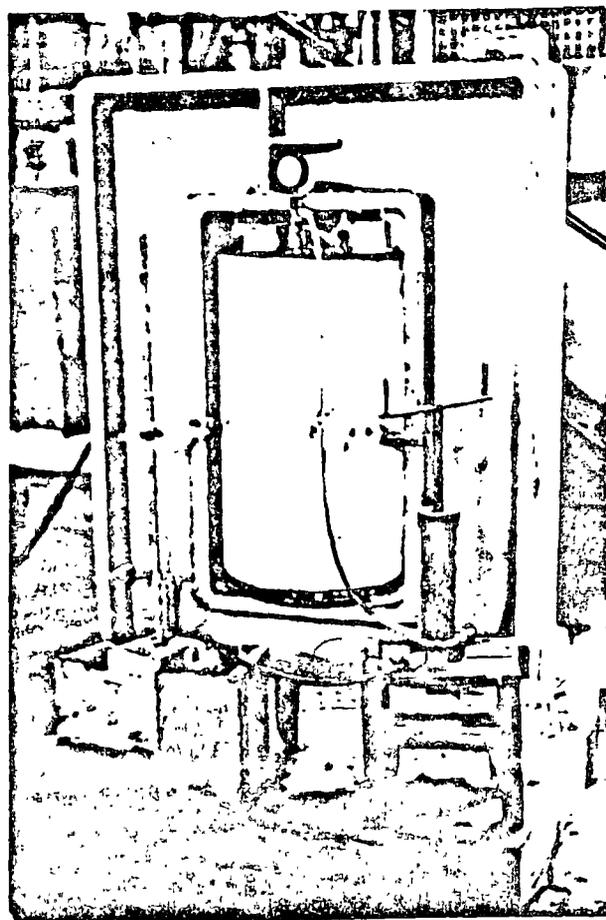


Fig 12.

## 5. UNIDADES HIDROSANITARIAS

### 5.1 ANTECEDENTES

Un caso particular de la aplicación del ferrocemento en la construcción de tanques le constituye su empleo en la construcción de fosas sépticas. Este sistema constructivo, por otra parte, es utilizable también para la fabricación de muebles sanitarios tales como: piletas para regadera, inodoros, lavabos, fregaderos y lavaderos. Integrando en una sola unidad una fosa séptica, un local superpuesto con paredes de ferrocemento y muebles sanitarios del mismo material, y un tanque de almacenamiento en la parte superior del conjunto, se tiene una unidad hidrosanitaria completa. Esta aplicación del ferrocemento ha sido desarrollada en nuestro medio.

### 5.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

La unidad hidrosanitaria integral viene a constituir una solución al problema de los servicios de higiene en lugares en donde no se dispone de un sistema central de agua y alcantarillado. Requiere únicamente suministro de agua al nivel del piso y un sitio al cual descargar las aguas servidas previo paso del efluente por un pozo de oxidación.

La unidad puede construirse fácilmente en lugares apartados de --

los centros urbanos, ya que no requiere mano de obra especializada y los materiales que emplea: cemento, tela de gallinero, alambre y arena se consiguen sin dificultad en el medio rural. Es susceptible también de prefabricación.

### 5.3 DISEÑO

Para el proyecto de una solución de este tipo pueden considerarse como elementos sanitarios mínimos los siguientes:

1. Un inodoro tipo turco
2. Un lavabo 30 x 45 cm
3. Una regadera
4. Un lavadero 65 x 75 cm que pueda utilizarse también como fregadero.
5. Un tanque alto de 200 lts para la alimentación de agua fría a los muebles anteriores
6. Una fosa séptica para el tratamiento de las aguas procedentes del inodoro

La capacidad mínima de la fosa séptica deberá ser de 1500 lts que es igual al volumen de aguas negras correspondiente a 24 horas considerando 10 personas a razón de 150 lts por persona y por día.

Para el diseño de las losas deberán considerarse las sobrecargas que señalen los Reglamentos de Construcción que correspondan y pa-

ra la revisión ante fuerzas horizontales se utilizará el coeficiente sísmico de la zona en que se vaya a construir y una velocidad de viento de acuerdo con el sitio y las condiciones de exposición.

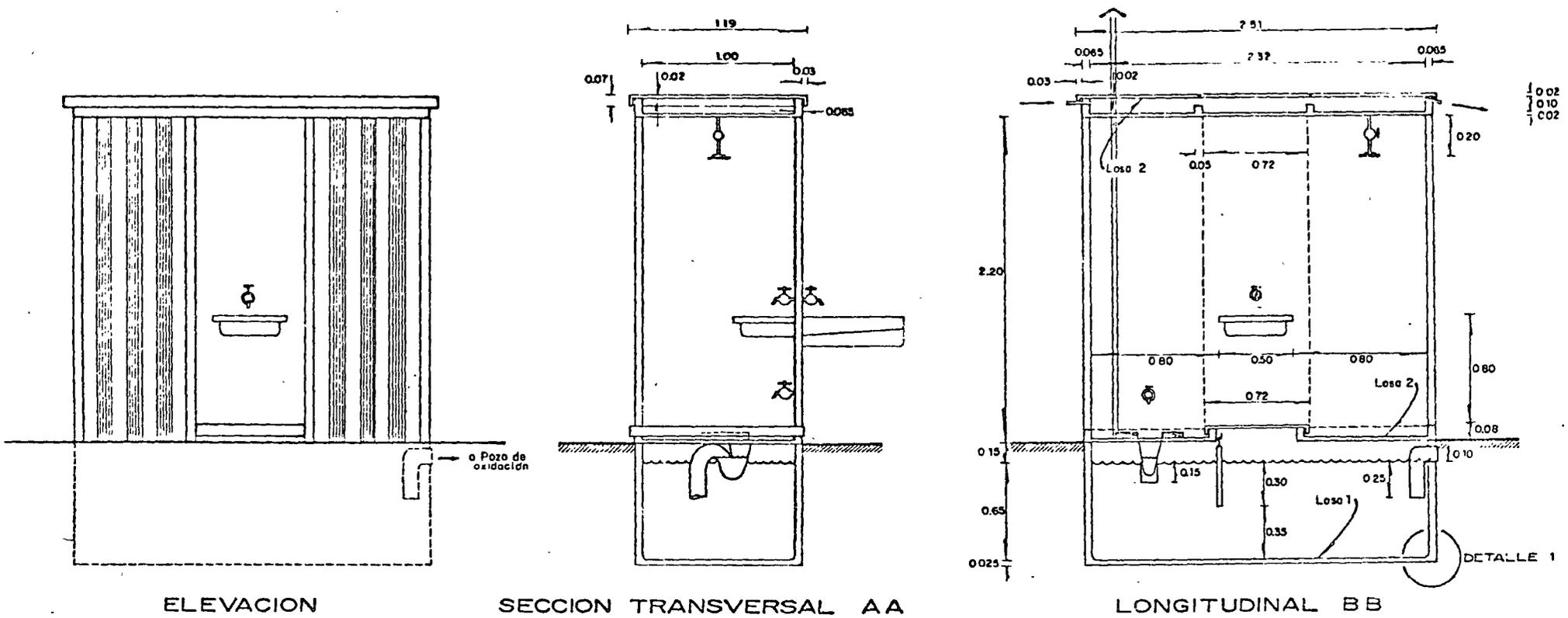
Una unidad de esta naturaleza aparece representada en la figura anexa.

#### 5.4 CONSTRUCCION

El armado y el colado de la losa de piso no presentan aspectos especiales. El armado de las paredes se realiza sobre moldes de madera fijando la tela metálica con grapas a fin de asegurar el espesor proyectado. El mortero se aplica con cuchara y manos haciendo presión para obtener una penetración completa.

El lavabo, el lavadero, el tubo de desagüe de la fosa séptica y el sifón del inodoro pueden fabricarse previamente y montarse antes de cementar las paredes y el piso.

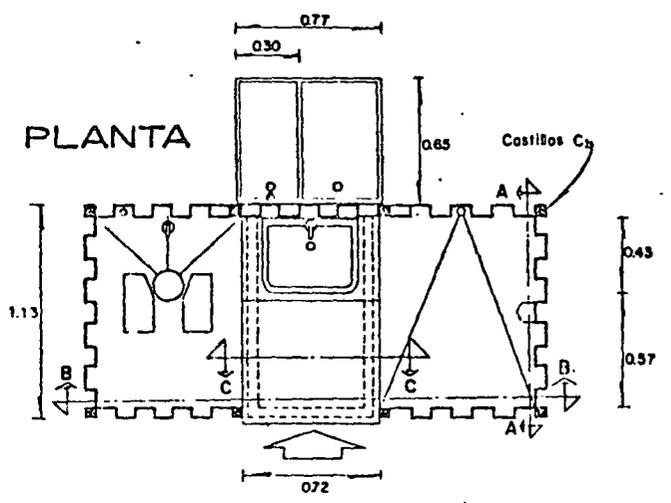
Al terminarse la unidad se prueban los depósitos llenándolos de agua y se corrigen las filtraciones que pudieran presentarse.



ELEVACION

SECCION TRANSVERSAL AA

LONGITUDINAL BB



PLANTA

INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM	
SECCION DE ESTRUCTURAS	
UNIDAD HIDROSANITARIA EN FERRO CEMENTO PARA VIVIENDA RURAL	
6090 - E - II - 77	FLAÑO-1

Fig 13.

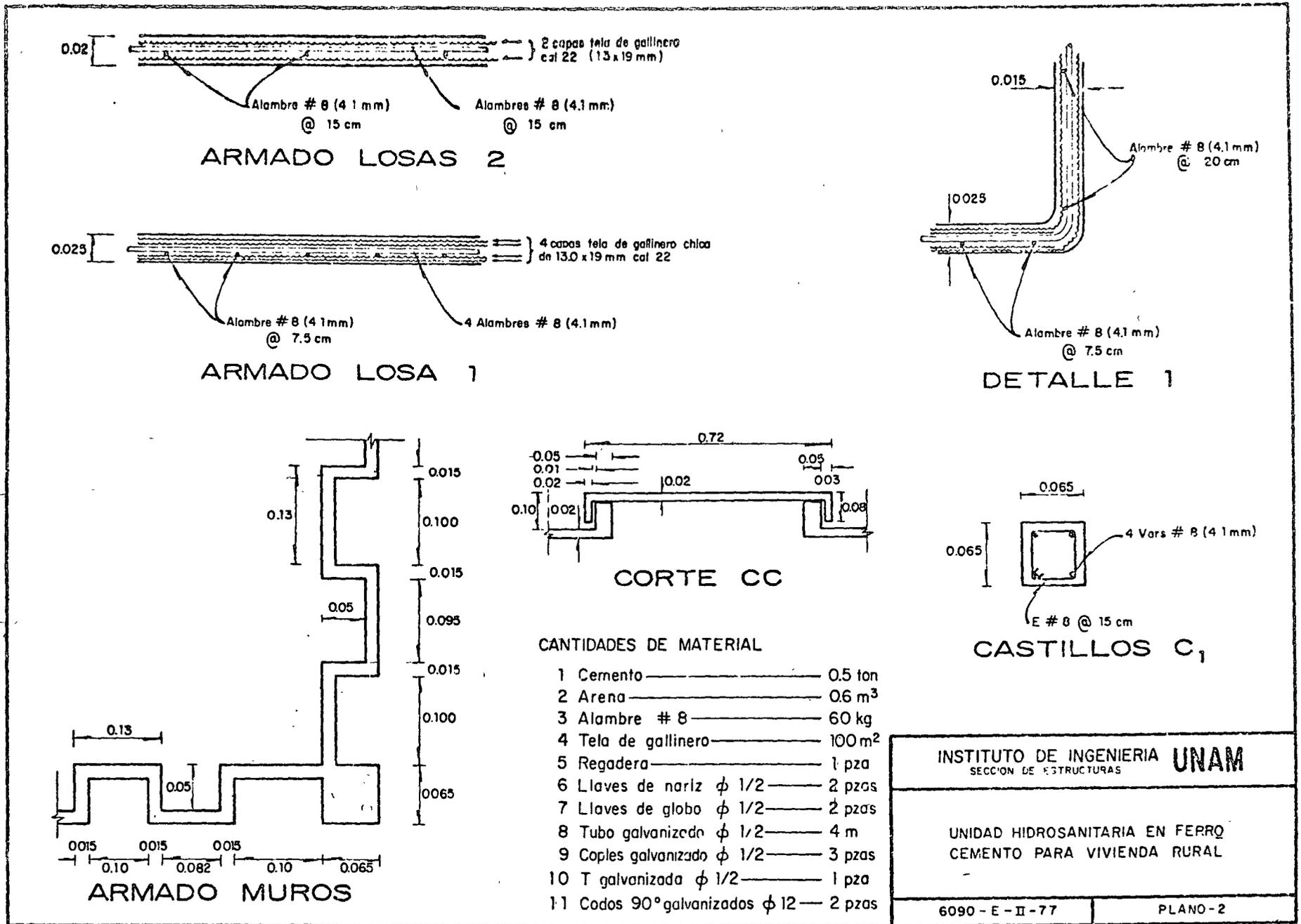


Fig 14.

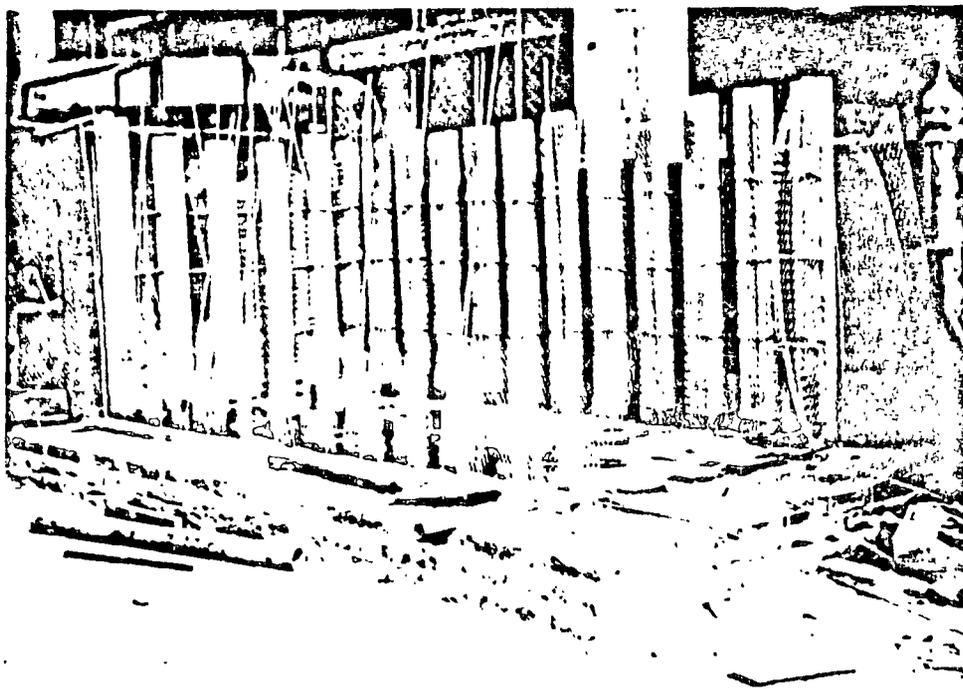


Fig 15. Cimbrado y armado de muros

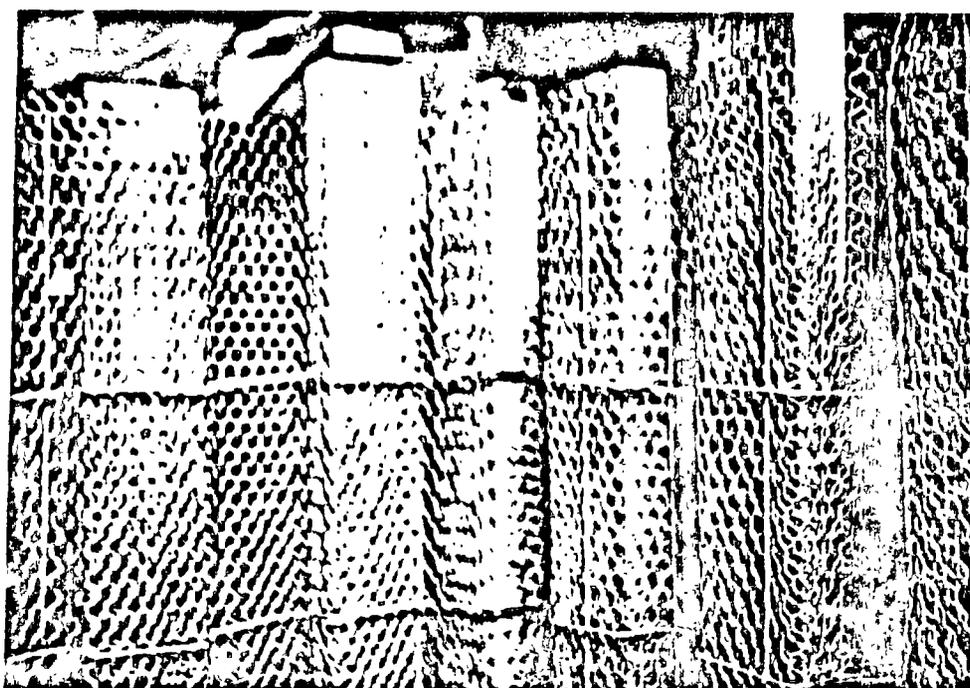


Fig 16. Detalle del armado

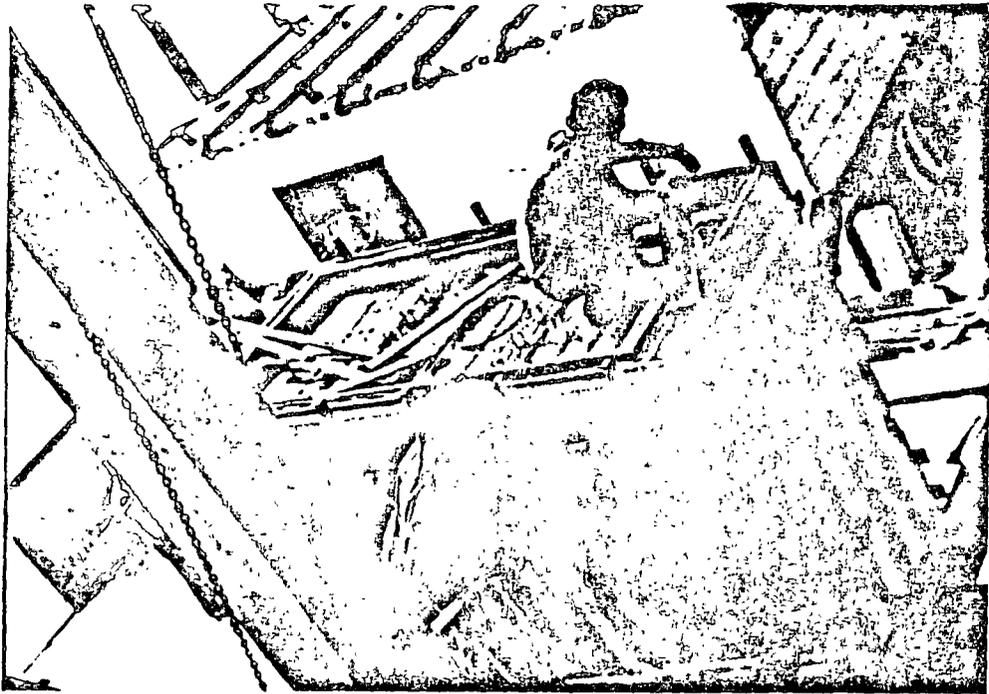


Fig 17. Cimbrado de la losa y pretilas del tanque

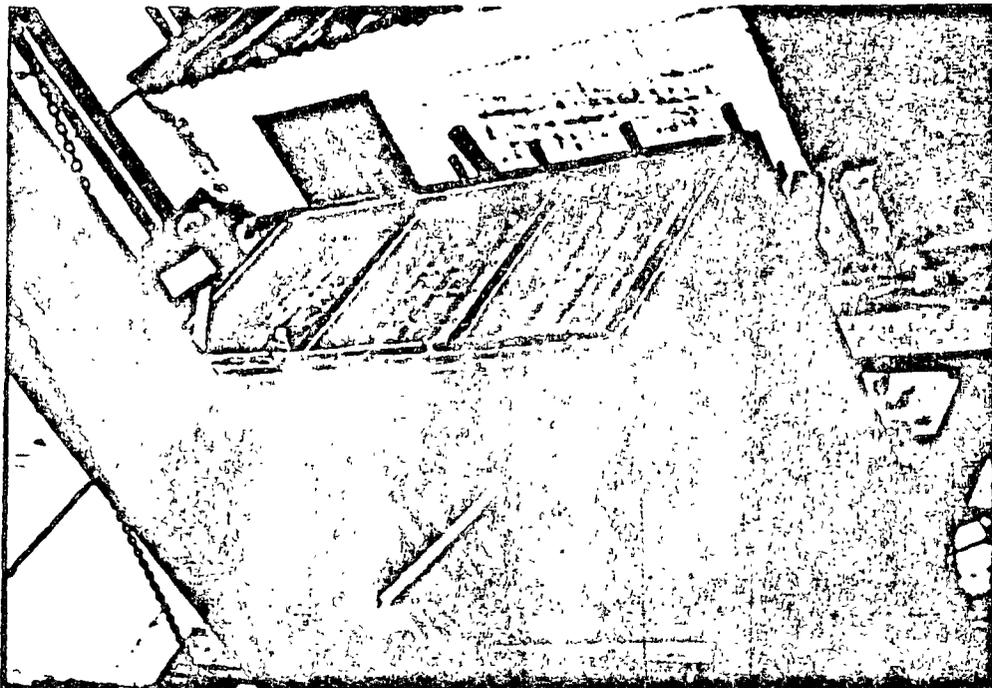


Fig 18. Cimbrado y armado de la losa, trabes y pretilas del tanque

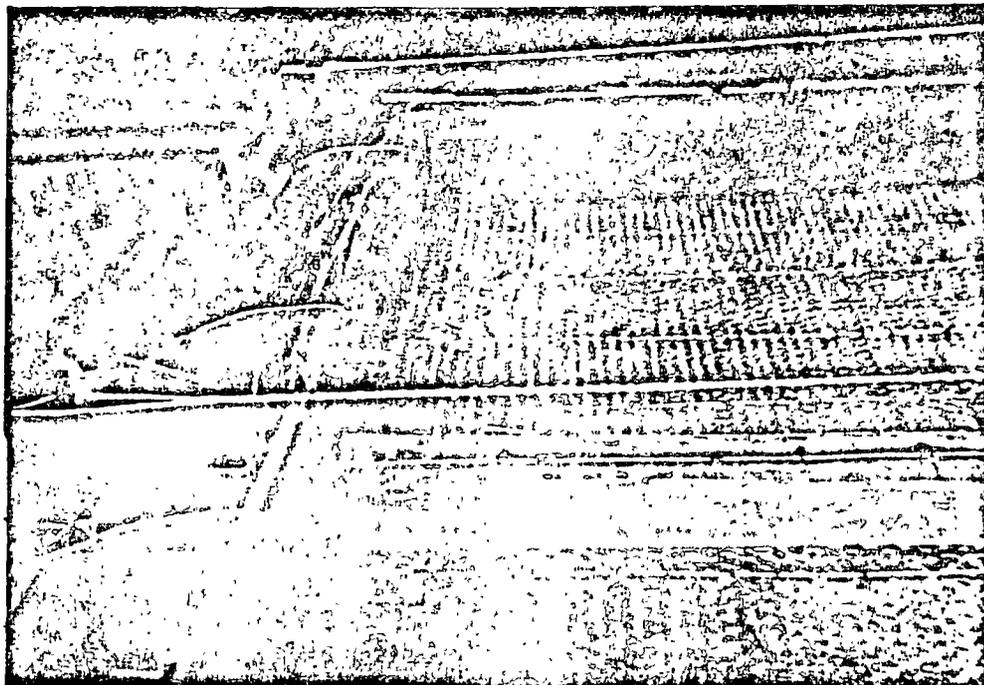


Fig 19 Detalle del refuerzo de la losa, traves y pretiles del tanque

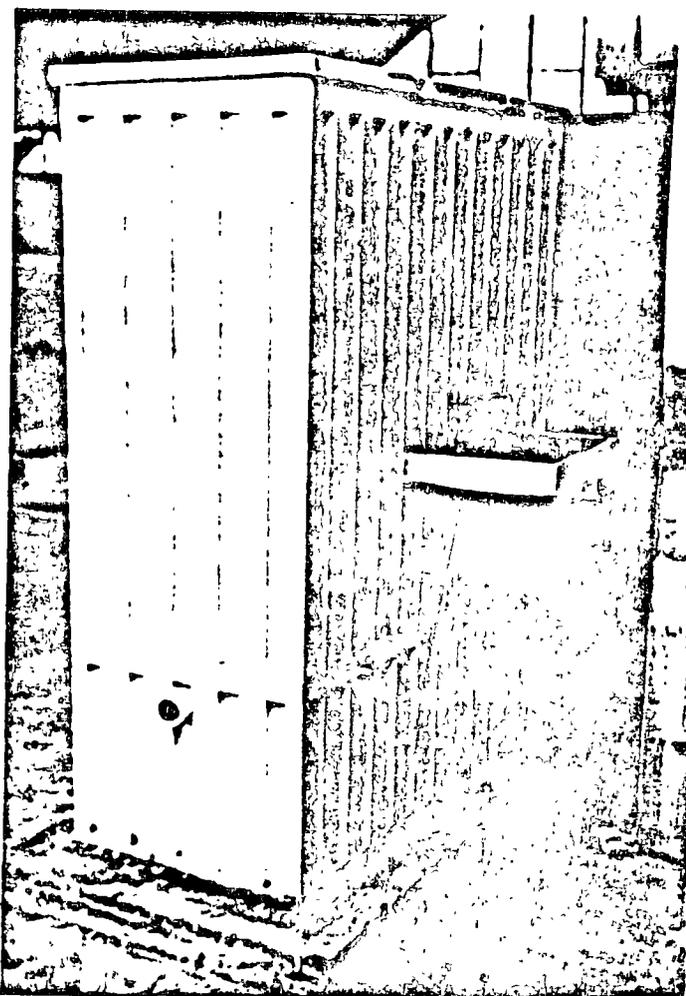


Fig 20. Unidad terminada. Vista posterior. Lavadero

## 6. SILOS

### 6.1 ANTECEDENTES

La facilidad que ofrece el ferrocemento para adaptarse a la construcción de toda clase de superficies curvas y a las condiciones locales de trabajo más rudimentarias, ha sido bien aprovechada en la construcción de pequeños silos rurales. En Tailandia, Etiopía y algunos países de América Latina se ha difundido esta aplicación del ferrocemento en los últimos diez años.

### 6.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

El ferrocemento puede considerarse aplicable en la construcción de silos de este tipo con capacidades entre 1 y 30 ton aproximadamente. Constituye una solución particularmente apta para la construcción en áreas alejadas y de difícil acceso.

Los silos de ferrocemento no son atacables por roedores, son impermeables y pueden hacerse herméticos mediante el uso de sellos a descuados en las tapas. La condición de hermeticidad imposibilita la renovación del oxígeno interior e impide la supervivencia de cualesquiera organismos aerobios que pudieran atacar el material almacenado. Se añade a lo anterior un bajo costo de construcción y un manteni miento casi nulo.

### 6.3 DISEÑO

Los silos de ferrocemento que se emplean en Tailandia tienen la forma de un cono truncado y para capacidades entre 4 y 10 ton se diseñan con una altura aproximada de dos metros y diámetros variables en la base y en la cara superior. Se llenan a través de una abertura circular en la parte alta y se vacían mediante una compuerta lateral a nivel de piso. Los lados tienen una pendiente cómoda, y presentan 5 ó 6 escalones que permiten alcanzar fácilmente la abertura superior y realizar el llenado manualmente con botes o costales.

Para capacidades de almacenamiento mayores, se construyen silos de dimensiones más grandes o se utilizan baterías de silos de -- las características descritas anteriormente. El empleo de una bate-- ría de silos ofrece la ventaja de no tener que abrir mas que un silo a la vez para el retiro del producto, conservándose en los demás la atmósfera desprovista de oxígeno.

En contraste con los silos de Tailandia, los que se emplean -- en Etiopía y en América Latina son subterráneos; su forma se asemeja a la de una botella cónica de laboratorio. La mayoría de estas fosas tienen una capacidad que va de 0.5 a 2 ton; para las primeras, su -- profundidad es de 1 m, aproximadamente, por 1 m de ancho máximo, y

para las segundas es de 1.75 por 2 m. Las fosas mayores tienen 3 m de profundidad y 4 m de ancho máximo, correspondiéndoles una capacidad aproximada de 7 ton.

#### 6.4 CONSTRUCCION

En Tailandia, la construcción de un silo comienza con el colado de la base, que consta de dos capas de concreto reforzado con ma-lla, de 5 cm de espesor cada una, y una capa de asfalto intermedia - como protección adicional contra la humedad.

Para formar las paredes se utilizan postes inclinados, de tubo o de madera, que se fijan por su parte inferior a la base de concreto y convergen por la parte superior al marco de la boca de llenado. La estructura se completa con varillas de refuerzo dispuestas entre los postes con la misma inclinación, y con anillos de varilla que agrupan todos los elementos.

El conjunto se recubre por dentro y por fuera con una capa de tela de alambre y el mortero se aplica directamente sobre la tela, - sin necesidad de cimbra, utilizando las manos para lograr una penetra-ción total. En las bocas se dejan las preparaciones necesarias para el cierre hermético.

Terminada la pieza, a fin de que el curado se realice en las

condiciones óptimas, se protege del sol y del viento, manteniéndola húmeda por un mínimo de siete días.

En Etiopía y América Latina los silos subterráneos se revisten interiormente con ferrocemento. Para ello, se comienza por construir en el piso de la fosa una plantilla de 10 cm de espesor y sobre ella un firme de concreto. Se procede luego a aplicar en las paredes una capa de mortero de 2.5 a 3 cm de espesor y sobre ésta se asegura una capa de tela de alambre, continuándose la colocación del mortero encima de la malla hasta alcanzar el espesor total. Se mantienen durante un mínimo de 7 días las condiciones de humedad necesarias para un buen curado del mortero, y se recubre el interior con un impermeabilizante asfáltico.

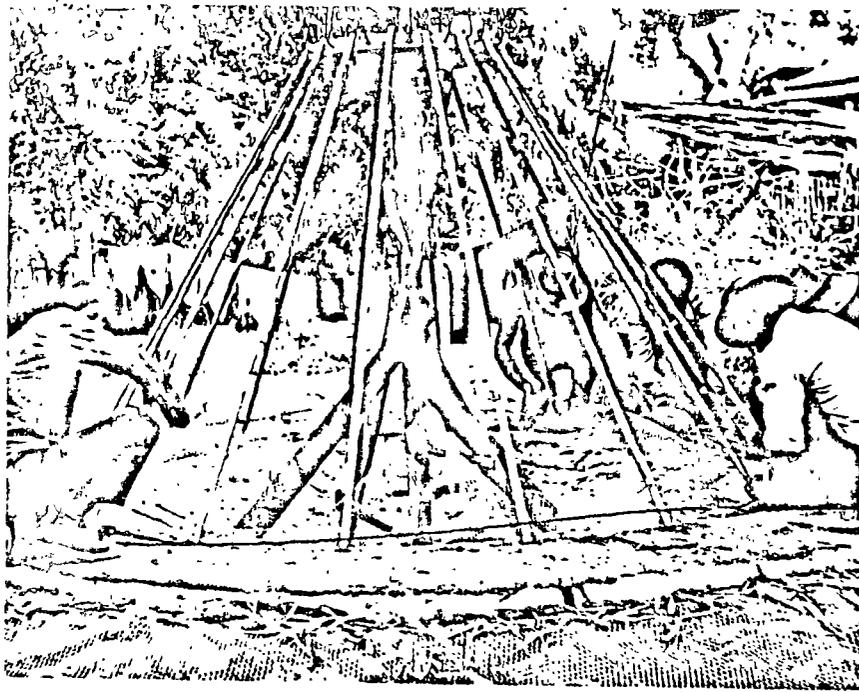
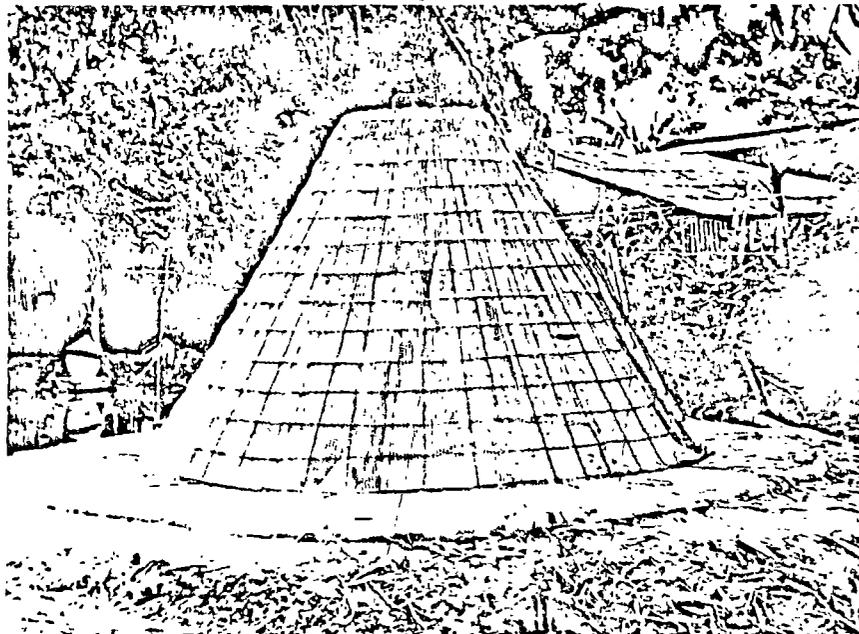


Fig 21. Proceso Constructivo de  
sÍlos en Tailandia.



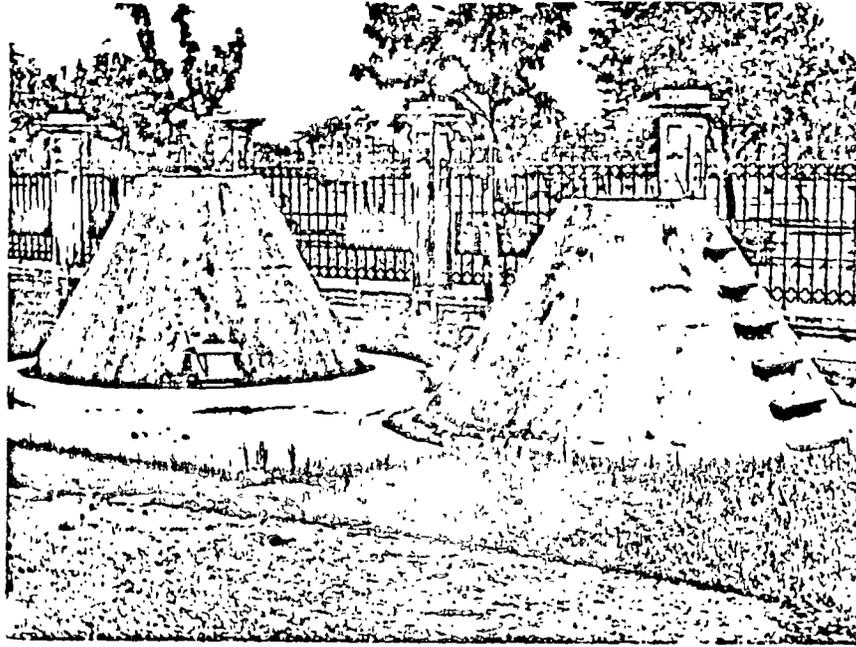


Fig 22. Silos terminados en Tailandia.

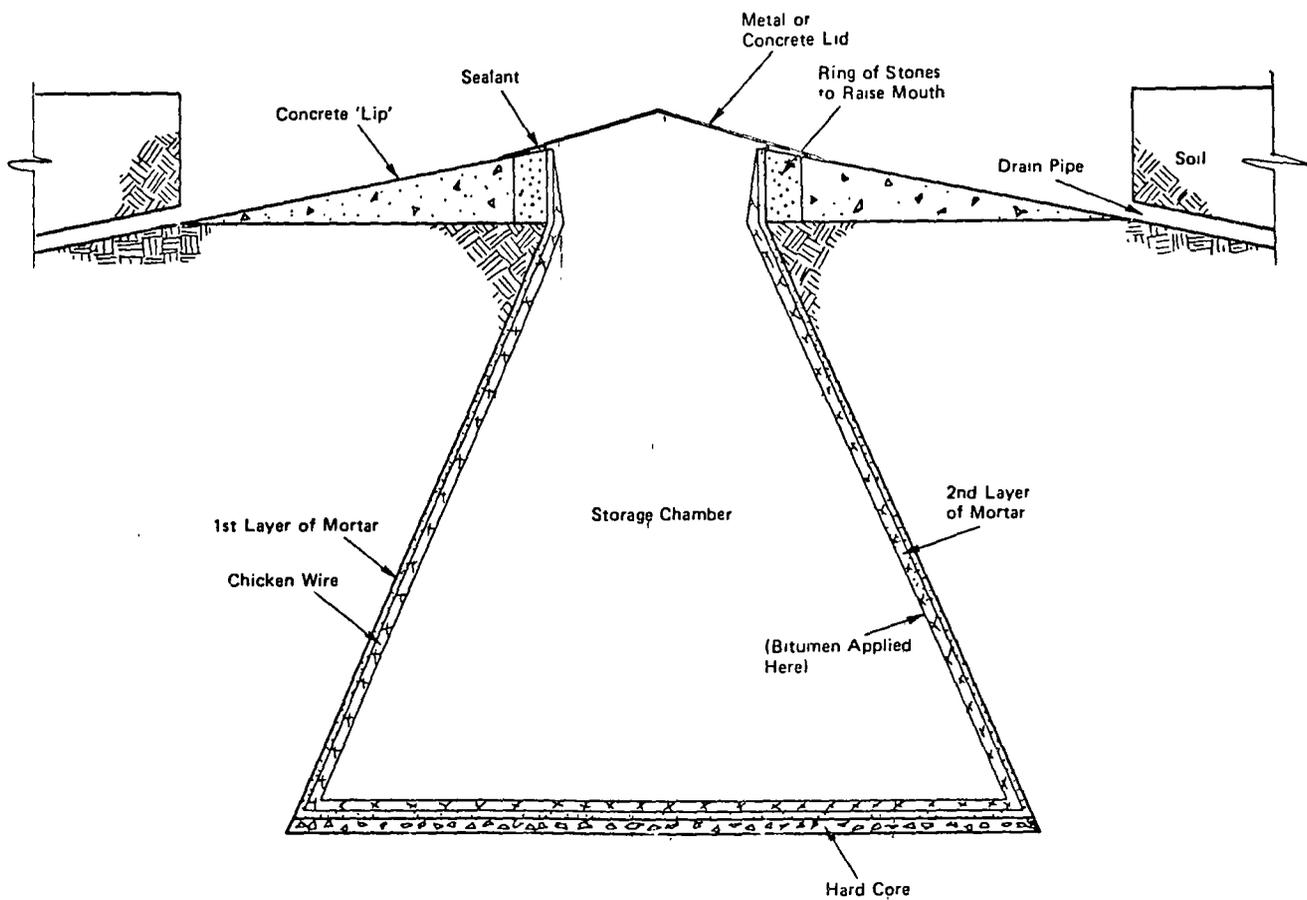


Fig 23. Sección típica de silo subterráneo en Etiopía.

## 7. CANALES

### 7.1 ANTECEDENTES

Cuando se requiere conducir pequeños caudales de agua por terrenos irregulares se utilizan con frecuencia canales aéreos formados generalmente por secciones precoladas de concreto. El ferrocemento ha encontrado aplicación en este campo dando lugar al empleo de canaletas - como la que se muestra en la figura anexa que corresponde a un tipo de canal de uso común en la Unión Soviética.

### 7.2 CAMPO DE APLICACION Y VENTAJAS

No sólo en los canales de sección pequeña resulta ventajoso el uso del ferrocemento. En los canales de sección amplia que quedan alojados en terrenos permeables y que requieren la construcción de un revestimiento impermeable para evitar las filtraciones que reducen su eficiencia, también encuentra aplicación este sistema constructivo.

La impermeabilidad, resistencia al agrietamiento por asentamientos y deformaciones, facilidad de construcción y economía, son ventajas de la construcción en ferrocemento.

### 7.3 DISEÑO

Los canales aéreos de sección pequeña a los que se ha hecho referencia anteriormente y cuyo tipo se ilustra en la figura anexa, pue-

den diseñarse como vigas de sección curva, apoyadas libremente en sus soportes. Se les debe proporcionar también resistencia en el plano horizontal para el caso eventual de empujes de animales u otros accidentes. Se obtiene un espesor de pared de 20 mm para un canal típico como el de la figura.

En los canales de sección amplia, alojados en el terreno, debe buscarse en general la mejor solución desde el punto de vista económico, mediante el establecimiento de las dimensiones y refuerzos óptimos de los tableros entre juntas. Un revestimiento típico para un canal mediano de, aproximadamente, 1 m de plantilla, 5.5 m de ancho en la parte superior y 1.5 m de tirante puede considerarse de 2 cm de espesor con dos capas de tela de alambre, sin juntas en sentido transversal y con juntas a cada 6 m en sentido longitudinal.

#### 7.4 CONSTRUCCION

Los tramos de canal aéreo se cuelan invertidos sobre moldes hechos en el lugar con relleno de tierra o arena y revestidos con mortero, los cuales se hacen discontinuos en los sitios correspondientes a los tirantes entre los bordes superiores del canal para no entorpecer su retiro del molde. Retirada la pieza, y en posición normal, se procede al pulido de la cara interior para asegurar la imperme-

meabilidad total.

Para el colado in situ del revestimiento de los canales - de sección mayor, se procede previamente a humedecer perfectamente el terreno para evitar la pérdida de agua del mortero. Se aplica a continuación una primera capa de mortero en los taludes y sobre -- ella las dos capas de malla , que se recubren posteriormente con - el espesor faltante de mortero. Seguidamente se construye en forma semejante el revestimiento de la plantilla. El curado es, como en - todos los casos, de la mayor importancia y puede efectuarse utili-- zando costales de yute que se conservan permanentemente humedecidos, o mediante la aplicación de una película impermeable que impida la salida y evaporación del agua.

Puede pensarse en sistemas mecanizados de construcción para canales de grandes dimensiones.

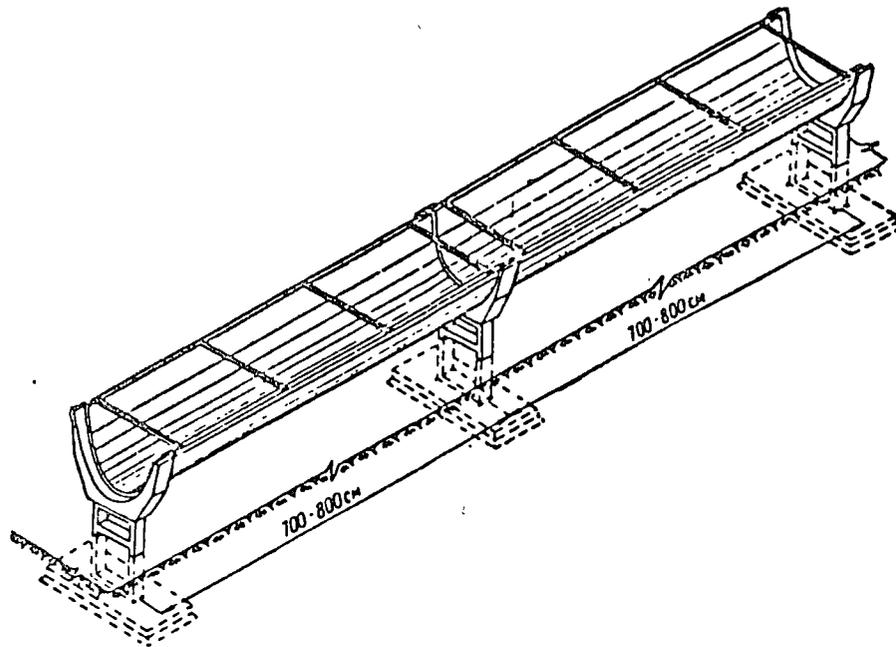
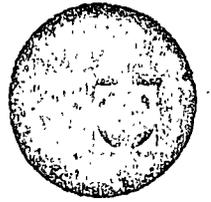


Fig 24. Canaletas de ferrocemento de 2 cm. de espesor prefabricadas en serie en la Unión Soviética.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de Ingeniería, unam



APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA CONSTRUCCION

ING. ROGERIO ZUBIETA CARDENAS

NOVIEMBRE, 1978.

## 1. INTRODUCCION

El déficit de vivienda rural en nuestro país se estimaba en 1969 en 1.600,000 viviendas aproximadamente, con un déficit cuantitativo de 700,000 y un déficit cualitativo de 900,000. El déficit cuantitativo se traduce en un mayor hacinamiento en viviendas que carecen de condiciones aceptables de habitabilidad.

En estas circunstancias, y en tanto se pueda proporcionar volumen y nivel de vivienda adecuados a la población del campo dentro de la programación económica nacional, parece indicado desarrollar medidas marginales que permitan mejorar de inmediato las condiciones de vivienda actuales.

La vivienda campesina, en general, carece de los servicios indispensables de higiene por lo que una medida urgente para su mejoramiento es su equipamiento hidro-sanitario.

## 2. OBJETIVO

De acuerdo con lo expuesto en la sección anterior se buscó en este estudio desarrollar una unidad hidro-sanitaria mínima de bajo costo y con posibilidades de autoconstrucción en el medio rural.

El estudio comprendió el diseño de la unidad, la construcción de un prototipo y la verificación de su comportamiento ante las acciones de diseño.

## 3. DISEÑO

Se consideró que la unidad debía incluir como elementos hidro-sanitarios mínimos los siguientes:

1. Un inodoro tipo turco
2. Un lavabo 30 x 45 cm
3. Una regadera
4. Un lavadero 65 x 75 que pudiera utilizarse también como fregadero
5. Un tanque alto de 200 lts para la alimentación de agua fría a los muebles anteriores
6. Una fosa séptica para el tratamiento de las aguas negras procedentes del inodoro.

Estos elementos se agruparon buscando lograr un conjunto compacto y eficiente. La fosa séptica se situó en la base de la unidad, encima de ella se dispuso un pequeño local en el que se ubicaron los muebles sanitarios, y sobre de éste se localizó el tanque. Se consideró que podía disponerse de agua sin presión

al pie de la unidad utilizando una bomba manual para su elevación.

El inodoro tipo turco se alojó en la tapa de la fosa séptica y descarga en ella mediante un sifón que opera como obturador hidráulico. Las aguas jabonosas procedentes de los otros muebles sanitarios se canalizaron hacia el exterior de la unidad de donde deberán ser conducidas a un sitio de vaciamiento adecuado.

Las áreas de la regadera y del W.C. se cierran con cortinas y en la entrada de la Unidad se puede instalar una puerta opcionalmente.

La fosa séptica se proyectó con un tirante hidráulico de 0.65 m y una capacidad de 1 500 litros, habiéndosele provisto de un registro para su inspección y limpieza.

La unidad se diseñó en ferrocemento considerando que este sistema constructivo ofrece la solución más sencilla a los requerimientos combinados de resistencia, impermeabilidad, economía, durabilidad, bajo costo de mantenimiento, facilidad para la autoconstrucción y facilidad para obtener en el medio rural los materiales básicos, que son en este caso: cemento, arena, alambre y tela de gallinero.

Para el diseño de las dos losas superiores y de la losa al nivel de piso se consideró una sobrecarga de  $100 \text{ kg/m}^2$ , y en la revisión ante fuerzas horizontales se utilizó un coeficiente sísmico de 0.1 y un viento de 170 km/hora. La geometría y el refuerzo de la unidad se definen en los planos 1 y 2.

#### 4. CONSTRUCCION

En la fabricación de la pieza se utilizó mortero de cemento y arena en proporción 1:1.83 en peso, empleándose cemento Portland normal y arena del Distrito Federal con las siguientes características.

**Granulometría:**

Malla	% retenido acumulado
4	6
8	21
16	38
30	55
50	70
100	81
Charola	100

Módulo de finura: 2.71

Peso volumétrico suelto: 1492 kg/m<sup>3</sup>

Peso específico: 2.44

La relación agua: cemento fue de 0.54 en peso, habiéndose obtenido una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días en cubos de 5 cm por lado. La trabajabilidad de la mezcla correspondió a un revenimiento de 3 cms. en cono de tamaño reducido (Lamina 1).

El refuerzo se proporcionó con malla hexagonal del tipo tela de gallinero con alambre galvanizado de 0.7 mm de diámetro (# 22 A.W.G) y abertura nominal de 13 mm x 19 mm, complementada con alambres galvanizados de 4 mm de diámetro (# 8 A.W.G).

La estructura se construyó sobre un relleno confinado de 0.17 m de espesor con el fin de permitir la deformación de la losa en condiciones semejantes a las de trabajo. La construcción comprendió las siguientes etapas:

- a) Losa de cimentación
- b) Paredes de la fosa séptica
- c) Prefabricación del codo de descarga, del sifón del W.C y de las tapas de la fosa séptica
- d) Losa de piso
- e) Paredes del local hasta el nivel + 0.80 incluyendo el lavabo y el lavadero-fregadero
- f) Prolongación de las paredes del local hasta la losa de techo
- g) Losa de techo con trabe perimetral para formar el tanque elevado
- h) Tapas del tanque
- i) Instalación de tuberías y accesorios

En la construcción de la losa de cimentación la tela de alambre se dispuso en fajas transversales del ancho de la tela (0.90 m) con empalmes de 0.10 m defasados en las distintas capas. Se prolongaron las orillas de la tela y los alambres con el fin de traslaparlos con el refuerzo de los muros y mejorar las condiciones en la junta.

Los muros de la fosa séptica se cimbraron únicamente por la cara externa, utilizando para ello madera de triplay a la que se le fijaron hacia el interior barrotes de madera en sentido vertical de 4" x 2" con los espaciamientos indicados en los planos. Se habilitó solamente un lado largo y un lado corto de la cimbra, requiriéndose por lo tanto dos operaciones para la construcción de los muros. Las capas de tela de alambre y los alambres se aseguraron con grapas a la cimbra, procediéndose seguidamente a la colocación del mortero. La tela de alambre se dispuso con los

alambres orientados en dirección vertical. En la unión de las paredes con la losa de cimentación se forjó un pequeño chaflán para reducir las posibilidades de filtración en la junta.

El codo de descarga, el sifón del W.C. y las tapas de la fosa séptica se prefabricaron para incorporarlos a la estructura durante la construcción de las paredes de la fosa y de la losa de piso respectivamente.

La losa de piso está formada por dos tramos fijos en los extremos y un tramo cubierto por dos tapas removibles en el centro. Estas cubiertas removibles tienen por objeto permitir la inspección y limpieza periódica del interior de la fosa. Los tramos fijos de la losa se cimbraron, armaron y colaron "in situ" prolongándose el refuerzo en las orillas para una liga adecuada con los muros. Las tapas removibles, como quedó señalado anteriormente, fueron precoladas en el exterior.

Las paredes del local se construyeron en la misma forma que las paredes de la fosa séptica y utilizando la misma cimbra por lo que se colaron en tres fajas verticales y en dos operaciones cada faja. Con la primera faja de los muros se construyeron "in situ" el lavabo y el lavadero-fregadero.

Con el último tramo de los muros se cimbró la losa de techo del local y la trabe perimetral para formar el tanque elevado. En el colado de esta losa se dejaron ahogados tres coples para la conexión de las tuberías de alimentación a los muebles sanitarios.

La cubierta del tanque elevado se diseñó en tres secciones para facilitar su eventual remoción para limpieza. Estas piezas se colaron a nivel de piso y se colocaron en su sitio posteriormente.

Terminada la construcción de la estructura se conectaron las tuberías y llaves de los muebles sanitarios.

Durante todo el proceso constructivo se cuidó de mantener a la estructura en buenas condiciones de humedad para lograr un curado satisfactorio.

## 5. COSTO

El costo de los materiales permanentes de la Unidad se integra de la manera siguiente:

### Malla hexagonal

calibre 22, 3 x 19 mm	100 m <sup>2</sup> x	17.00	=	\$1 700.00
Alambre gal. # 18	60 kgs x	10.50	=	630.00
Cemento Portland Tipo I	0.5 ton x	760.00	=	380.00
Arena	0.6 m <sup>3</sup> x	160.00	=	96.00
Tubo galvanizado $\phi \frac{1}{2}$ "	4 m x	27.50	=	110.00
Llaves de zinc $\phi \frac{1}{2}$ "	2 pzas x	37.00	=	74.00
Llaves de paco $\phi \frac{1}{2}$ "	2 pzas x	41.00	=	82.00
Regadera $\xi$	1 pza x	80.00	=	80.00
Coples gal. $\frac{1}{2}$ "	3 pzas x	3.50	=	10.50
"T" galv. $\frac{1}{2}$ "	1 pza x	9.00	=	9.00
Codos 90° r.v. $\phi \frac{1}{2}$ "	2 pza x	5.50	=	<u>11.00</u>
	Suma			\$3 182.50

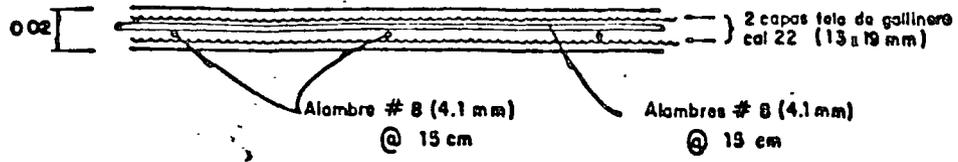
El tiempo de construcción puede variar según el número de personas que intervengan y la habilidad de las mismas, pero de una manera general puede estimarse que una persona con habilidad mediana y un ayudante deberán emplear de 5 a 7 semanas en la construcción de la unidad.

## 6. CONCLUSIONES

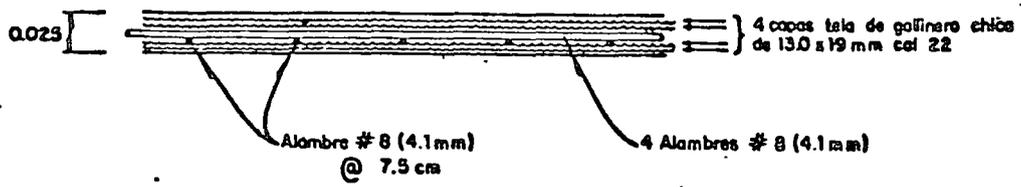
El prototipo se ha comportado satisfactoriamente ante las acciones de diseño, y las partes de la estructura destinadas al almacenamiento de líquidos han demostrado una impermeabilidad total con el espesor y el refuerzo proporcionados y sin el empleo de aditivos o tratamientos superficiales. El procedimiento de construcción se mostró sencillo y capaz de ser ejecutado aún por personas sin experiencia previa.

Se considera que el diseño resulta adecuado para su difusión en el medio rural a fin de que la población campesina pueda construir por si misma los elementos sanitarios de que carece su vivienda.

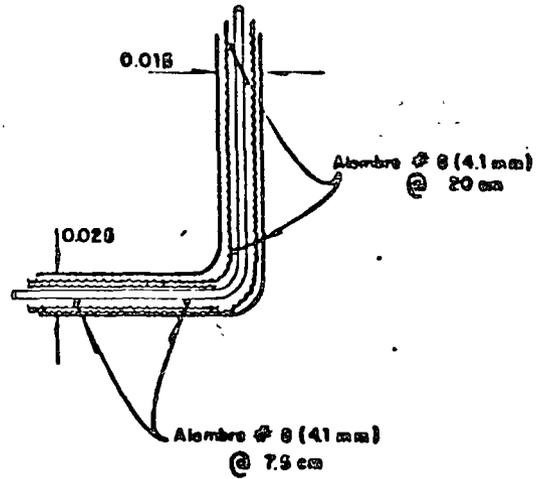




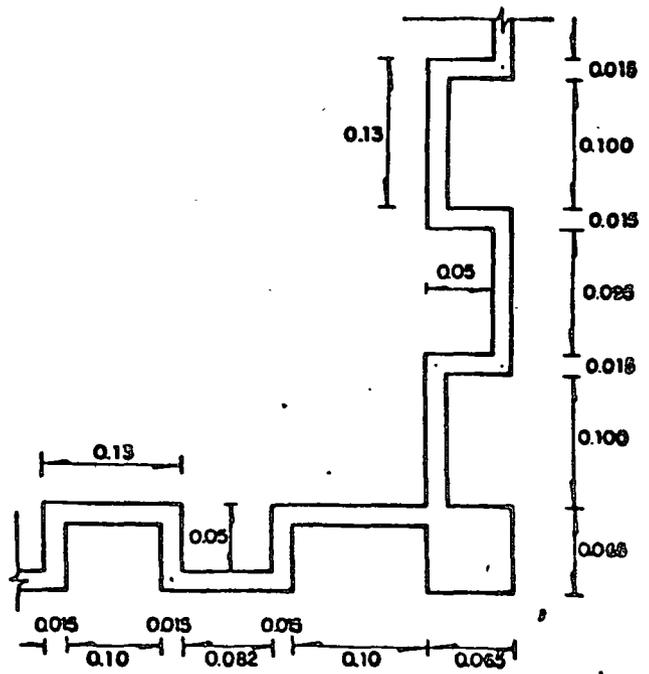
ARMADO LOSAS 2



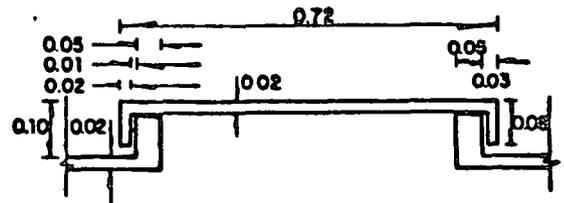
ARMADO LOSA 1



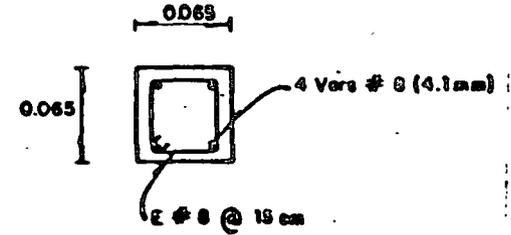
DETALLE 1



ARMADO MUROS



CORTE CC



CASTILLOS C<sub>1</sub>

CANTIDADES DE MATERIAL

- 1 Cemento ————— 0.5 ton
- 2 Arena ————— 0.6 m<sup>3</sup>
- 3 Alambre # 8 ————— 60 kg
- 4 Tela de gallinero ————— 100 m<sup>2</sup>
- 5 Regadera ————— 1 pza
- 6 Llaves de nariz  $\phi$  1/2 ——— 2 pzas
- 7 Llaves de globo  $\phi$  1/2 ——— 2 pzas
- 8 Tubo galvanizado  $\phi$  1/2 ——— 4 m
- 9 Coples galvanizado  $\phi$  1/2 ——— 3 pzas
- 10 T galvanizada  $\phi$  1/2 ——— 1 pza
- 11 Codos 90° galvanizados  $\phi$  1/2 — 2 pzas

INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM SECCION DE ESTRUCTURAS	
UNIDAD HIDROSANITARIA EN FERRO CEMENTO PARA VIVIENDA RURAL	
6080-E-II-77	PLANO-2

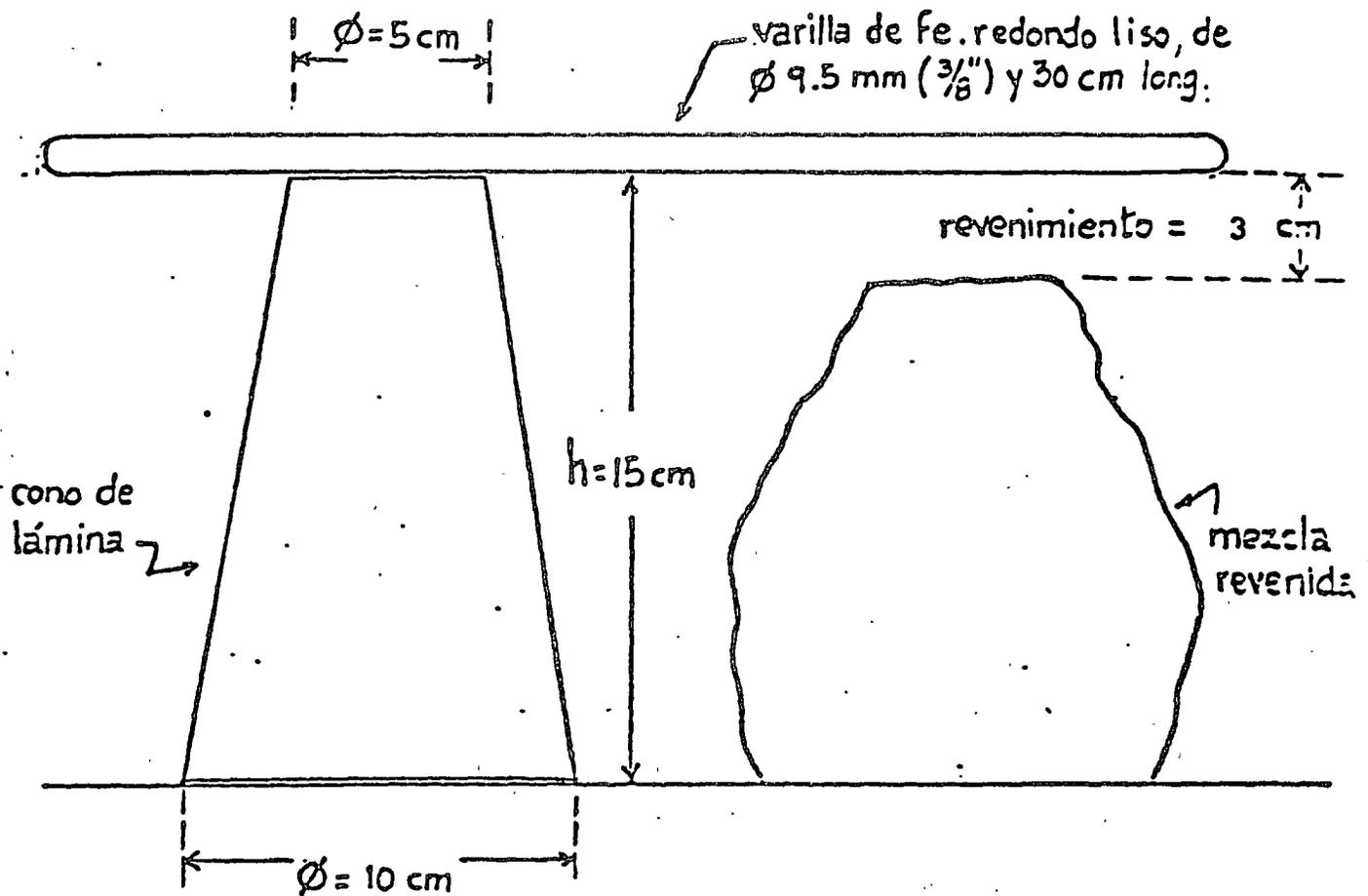


Lámina 1. CONSISTENCIA DE LA MEZCLA DE MORTERO, MEDIDA EN CONO DE REVENIMIENTO DE TAMAÑO REDUCIDO

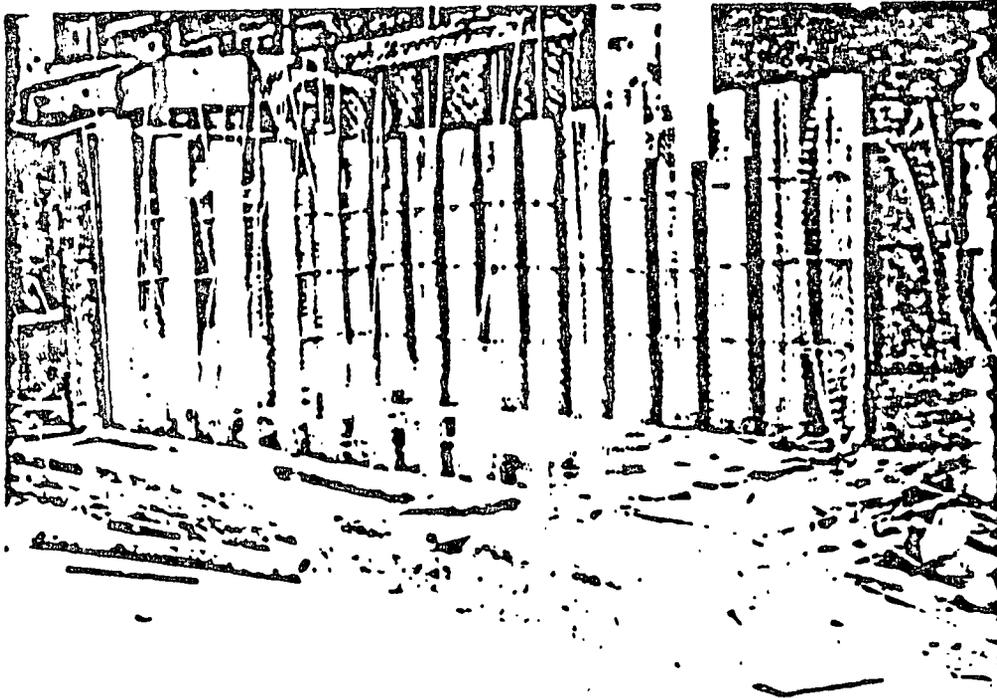


Fig 1. Cimbrado y armado de muros

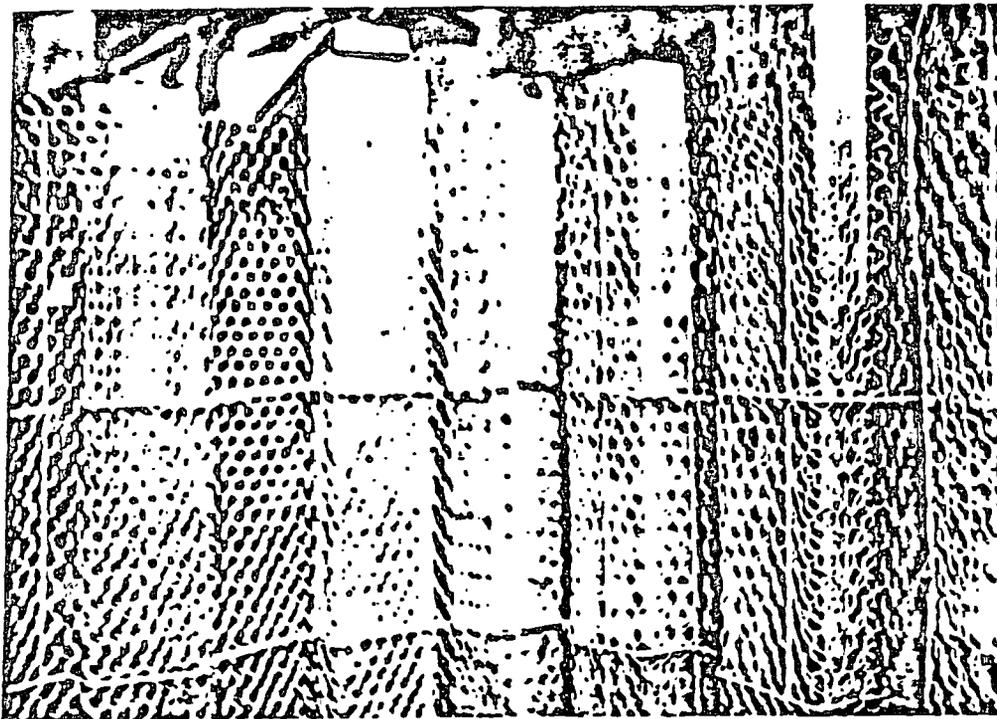


Fig 2. Detalle del armado



Fig 3. Control de revenimiento



Fig 4. Aplicación del mortero

Fig 5. Piso y paredes de la fosa séptica

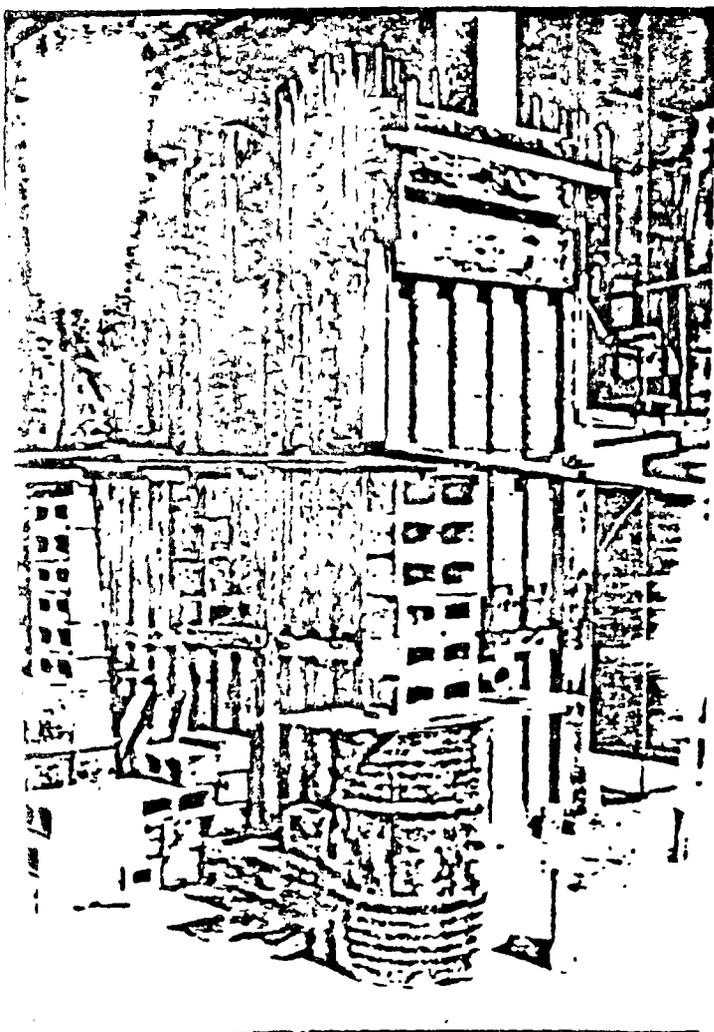
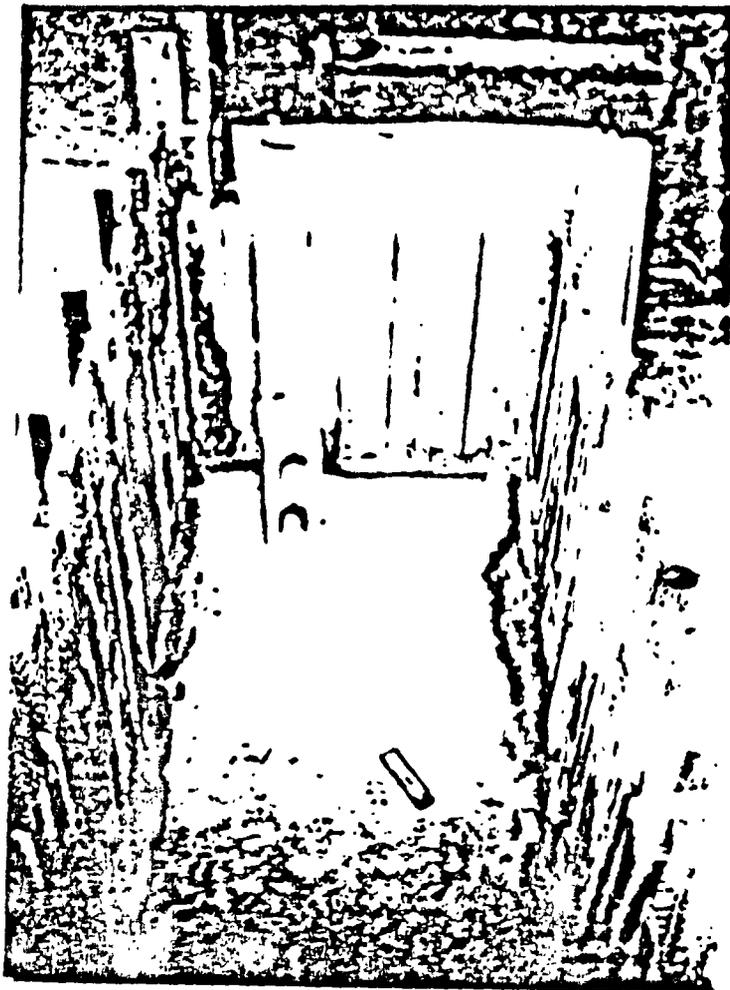


Fig 6. Cimbrado de la parte superior de los muros



Fig 7. Cimbrado de la losa y pretilas del tanque

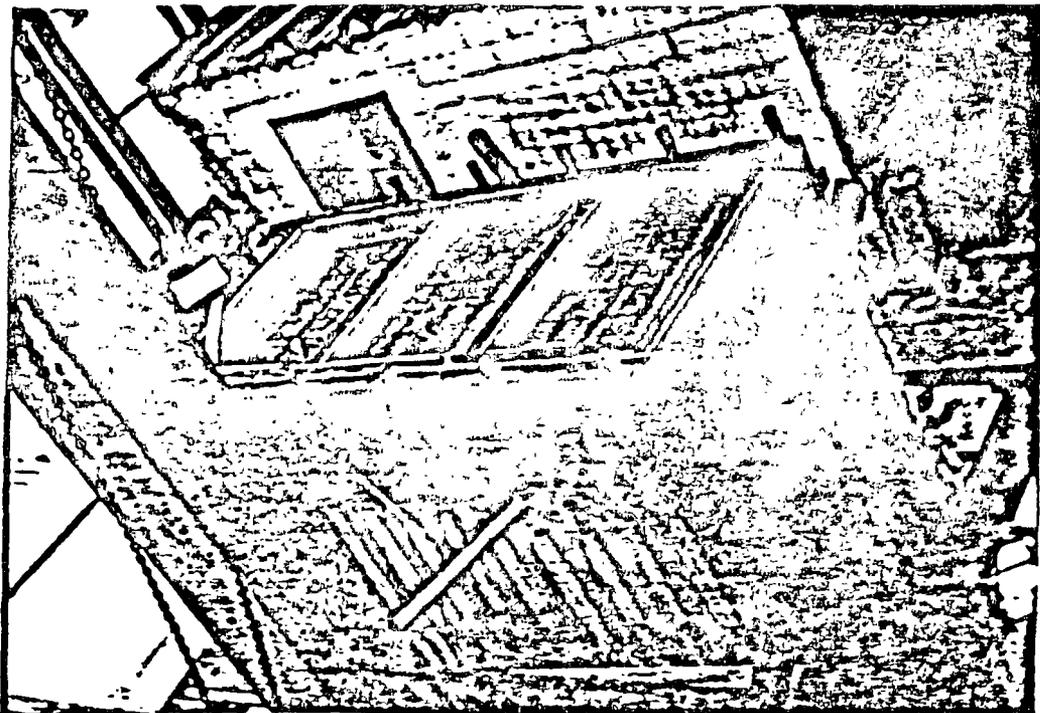


Fig 8. Cimbrado y armado de la losa, trabes y pretilas del tanque

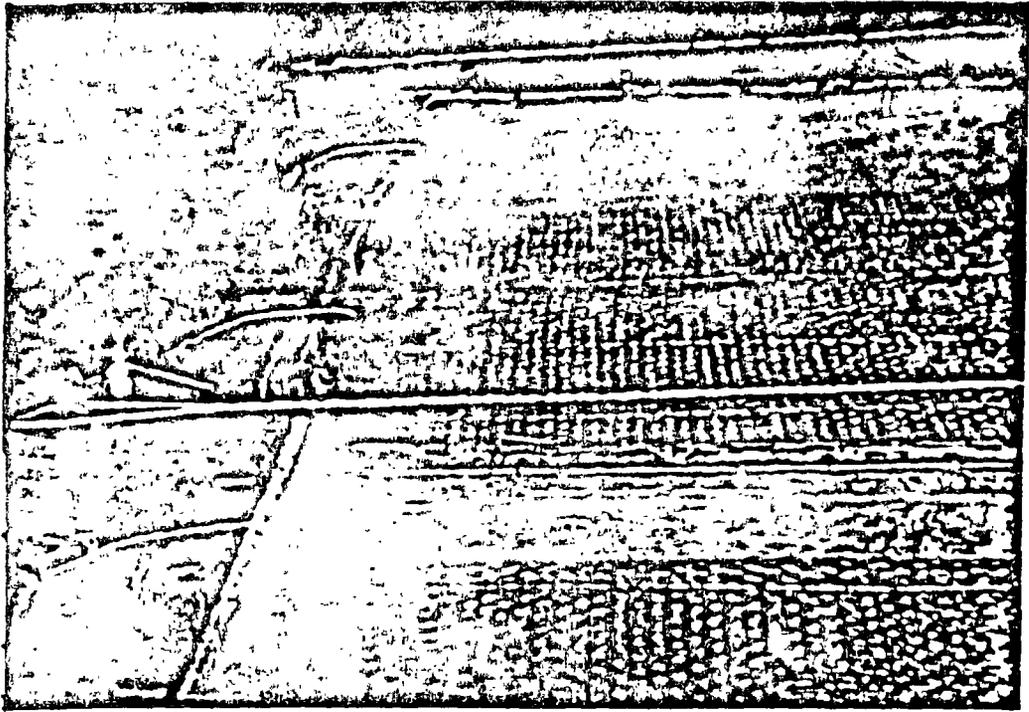


Fig 9. Detalle del refuerzo de la losa, trabes y pretiles del tanque

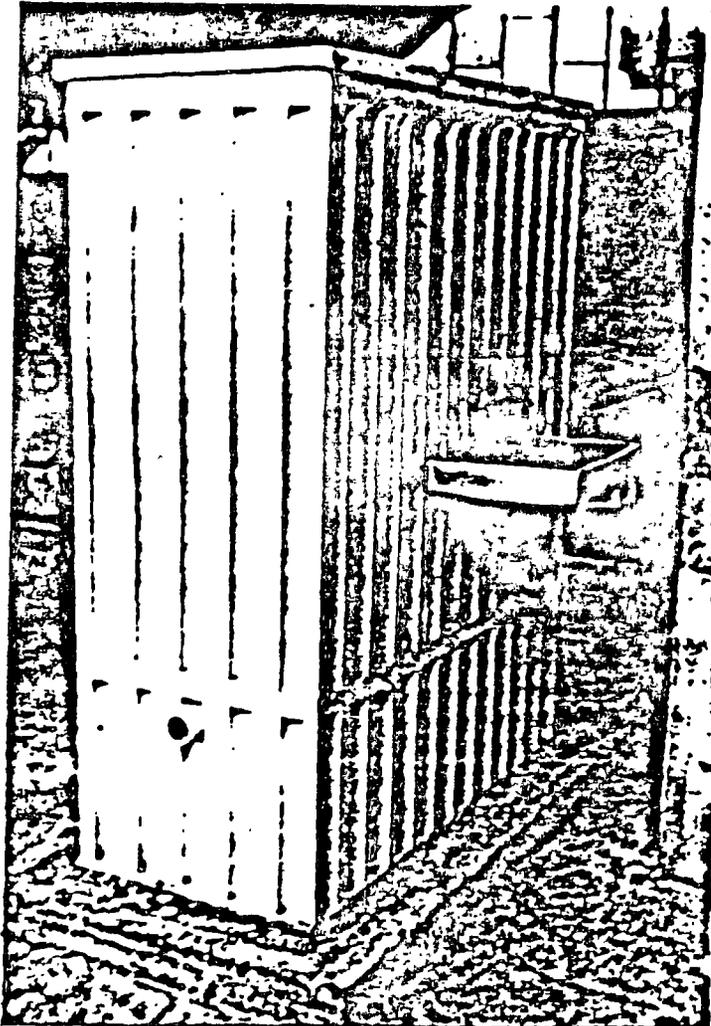


Fig 10. Unidad terminada. Vista posterior. Lavadero



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam

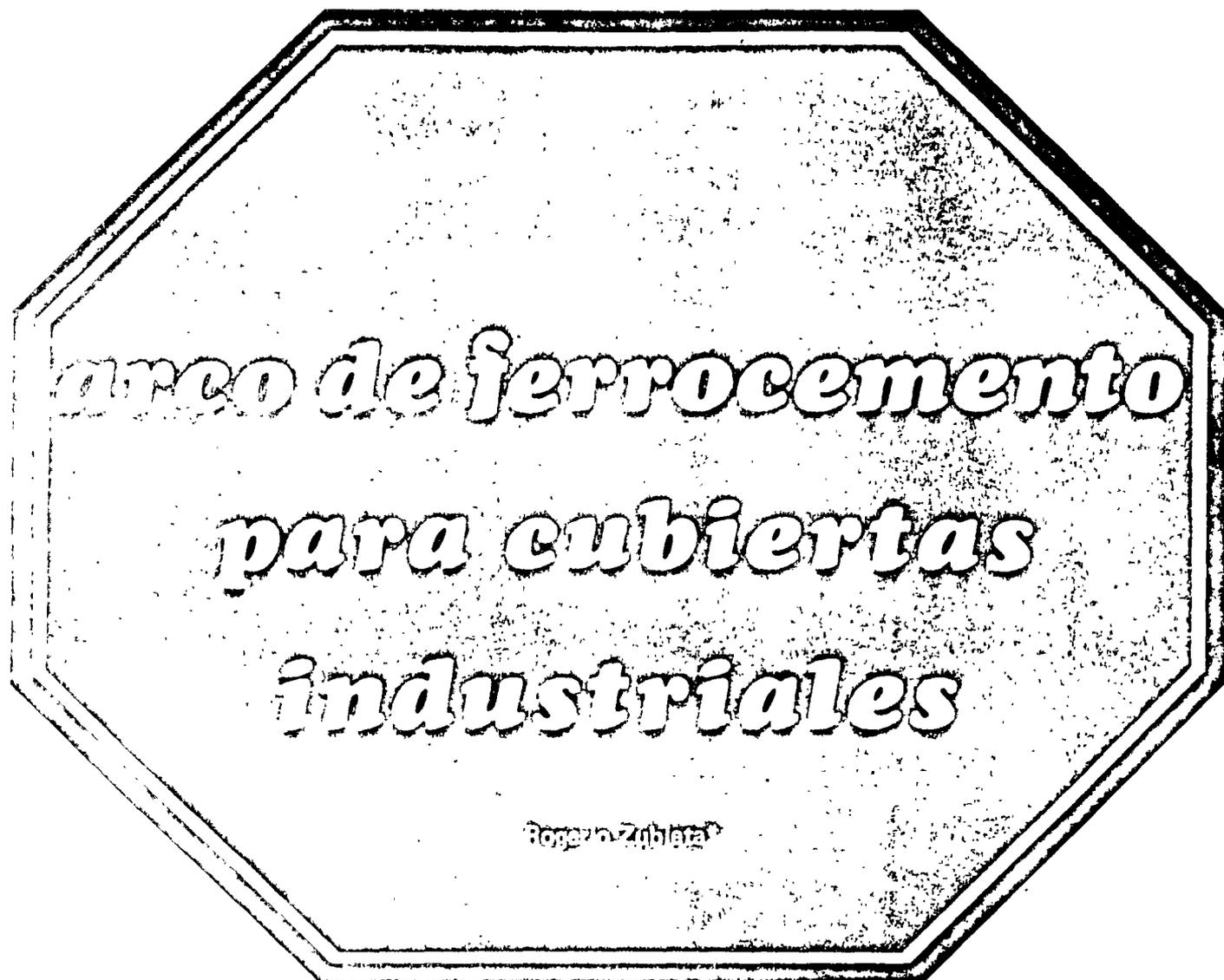


APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA  
CONSTRUCCION

ARCO DE FERROCEMENTO

ING. ROGERIO ZUBIETA C.

NOVIEMBRE, 1978.



## RESUMEN

En este artículo se describe un arco de ferrocemento diseñado como elemento de cubierta: su forma, dimensiones, refuerzo y métodos de construcción. Se señala la importancia de este sistema constructivo por su facilidad de empleo y economía, así como por lo interesante que resulta desde el punto de vista arquitectónico, debido a la libertad que ofrece para la creación de formas distintas. Se concluye que, con los diseños adecuados, las estructuras de este género pueden utilizarse para cubrir grandes áreas a bajo costo.

## SUMMARY

This article gives the description of a ferrocement arch, designed as a roofing element: its form, dimensions, reinforcement and construction methods. It points out the importance of this constructive system due to its easy use and economy, as well as to the interesting features it presents from the architectonic point of view, since it offers great freedom for the creation of different forms. It concludes with the fact that, with the adequate designs, this type of structures can be used to cover large areas at a low cost.

\* Ingeniero Civil. UNAM. Profesor e Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM.

El ferrocemento es un sistema constructivo que utiliza mallas metálicas y alambre como refuerzo de una matriz de mortero de cemento, formando láminas delgadas susceptibles de construirse en gran diversidad de formas. Su aplicación en las estructuras supone la libertad de escoger formas que ayuden a la resistencia a los esfuerzos a que estén sometidas y que permitan el uso de espesores pequeños. Las cubiertas, que ofrecen esta posibilidad, constituyen un campo adecuado para su utilización.

El sistema resulta económico y de fácil aplicación. A continuación se describe un elemento de cubierta desarrollado y puesto a prueba en el Instituto de Ingeniería de la UNAM como parte de un proyecto de investigación patrocinado por la Dirección General de Edificios de la Secretaría de Obras Públicas.

### FORMA Y DIMENSIONES

El elemento consiste de un arco parabólico atirantado formado por una lámina delgada de ferrocemento con doble ondulación transversal.

La configuración descrita permite una utilización bastante eficiente de los materiales, ya que se encuentran dispuestos de modo conveniente dentro de la estructura y trabajan fundamentalmente a esfuerzos directos. El arco soporta su propio peso básicamente a compresión axial y los momentos flexionantes que introducen las cargas accidentales resultan moderados.

La pieza tiene 15 m de claro y la flecha tiene un valor igual a 1/6 del claro, que equivale en este caso a 2.50 m. Para limitar el peso y facilitar la prefabricación y el montaje de la cubierta, ésta se construye con elementos que tienen un ancho de 2.50 m, cada uno cubriendo 37.5 m<sup>2</sup>.

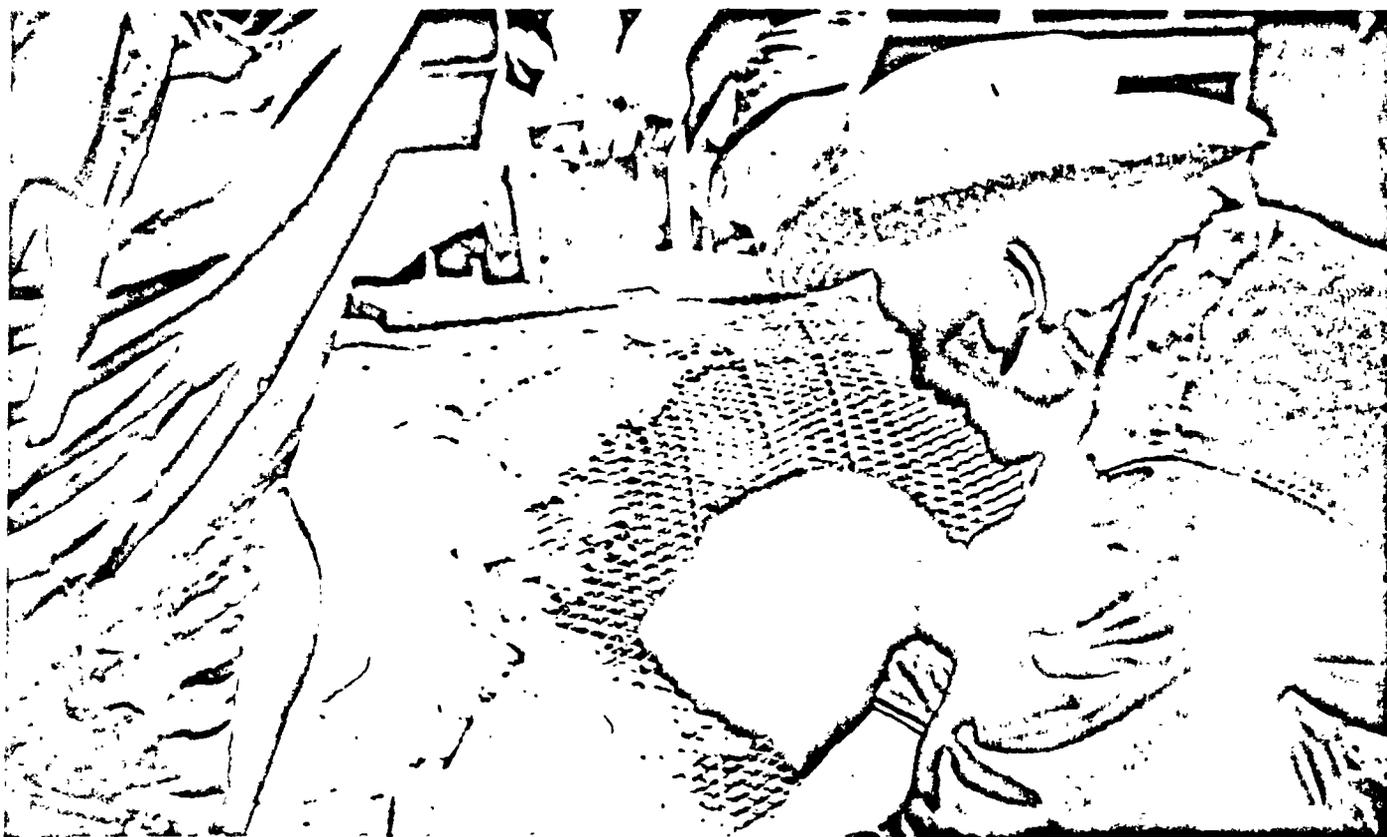
El espesor de la lámina de ferrocemento resulta de 3 cm; en su construcción se utiliza mortero de cemento y arena, con resistencia a la compresión de 300 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, en tanto que el armado se proporciona con dos capas de metal desplegado completadas con refuerzos de alambre de 4 mm de diámetro en ambas direcciones. Las cantidades de material por metro cuadrado de superficie horizontal cubierta son las siguientes:

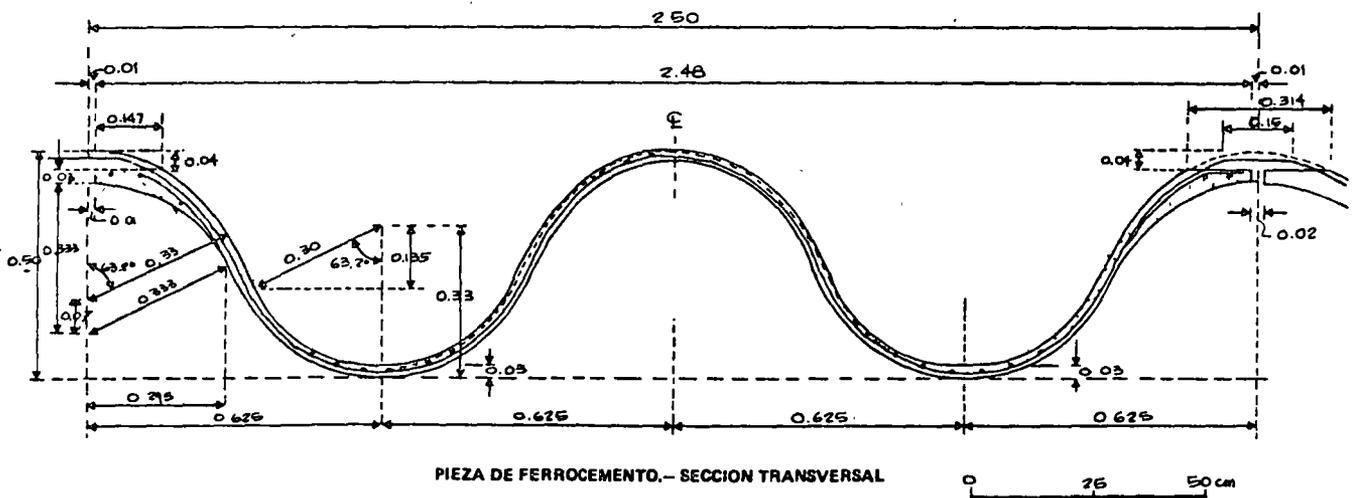
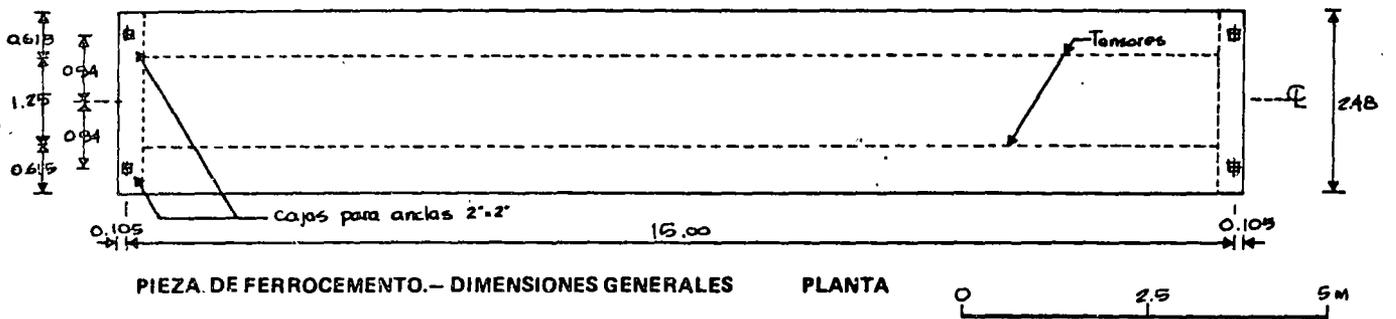
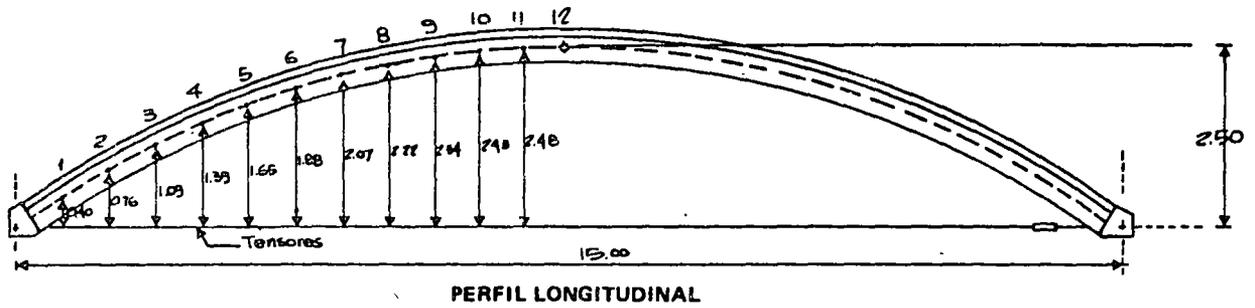
Mortero: 0.04 m<sup>3</sup>

Malla y alambre: 5.5 kg

Para atirantar el arco, que remata en sus extremos en dos pequeñas vigas de apoyo de concreto reforzado, se emplean dos tensores horizontales anclados en estas vigas. Cada uno de ellos está formado por un cable de presfuerzo de 9.5 mm, con un templador en un extremo.

*Aplicación manual del mortero de cemento-arena directamente sobre la malla de refuerzo.*





Los elementos adyacentes se unen entre sí vaciando un pequeño volumen de mortero en el que se ahogan alambres de refuerzo dejados para este fin en las orillas de la pieza. En otros casos, estas líneas de conexión pueden permanecer abiertas y utilizarse para la iluminación natural del interior mediante tragaluces.

Existe también una variante del elemento, que consiste en introducir una articulación en la clave. Esta variante simplifica la prefabricación a cambio del trabajo adicional que representa la construcción de la articulación central ofreciendo, así, una alternativa para adaptarse a las condiciones locales de trabajo. La articulación se resuelve insertando dos pequeñas placas de neopreno entre dos diafragmas que se aseguran entre sí con dos pernos de 1.6 mm.

El elemento se sometió a pruebas dinámicas y de carga vertical y se confirmó satisfactoriamente su capacidad para soportar las cargas de diseño que le corresponden. Las pruebas se realizaron tanto para el arco de 15 m como para la solución a base de medios arcos.

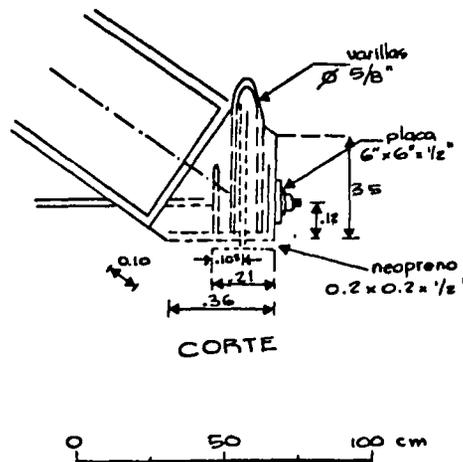
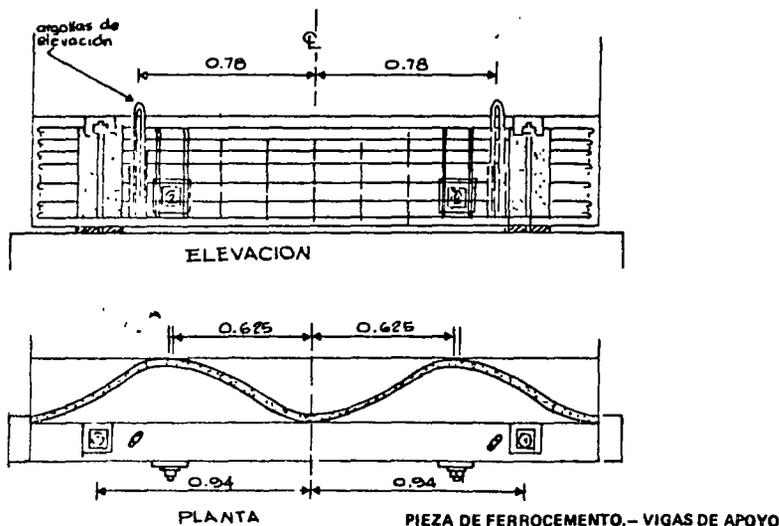
### FABRICACION

La pieza puede construirse *in situ* o prefabricarse, ya sea a pie de obra o en planta.

Para la construcción *in situ* no es necesario usar cimbra. En este caso el sistema de mallas metálicas se integra sobre una armazón de tubos y varillas de pequeño diámetro apoyada sobre una obra falsa ligera, con lo que se obtiene la rigidez necesaria durante la aplicación y el fraguado del mortero. El mortero, con la consistencia adecuada, se aplica directamente sobre las mallas, ya sea manual o neumáticamente, deteniéndose en ellas por la tracción mecánica que le ofrecen.



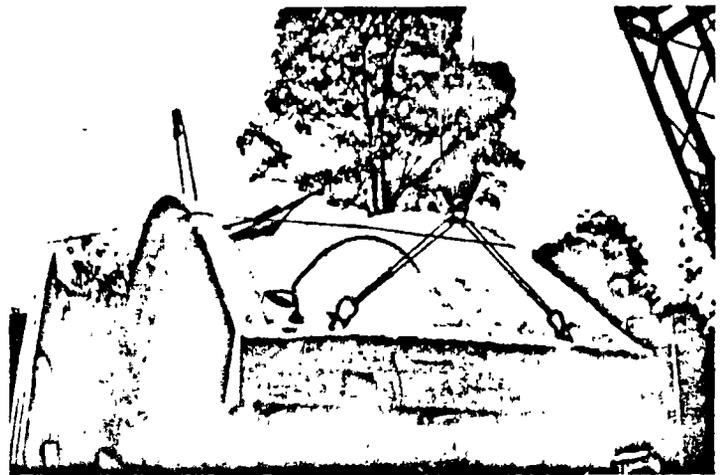
Arco de ferrocemento y sus apoyos, a base de vigas de concreto reforzado.





*Fabricación in situ; colocación del concreto en la cimbra de la viga de apoyo. La malla de refuerzo ya se encuentra en su posición para que, una vez terminado el apoyo, se aplique el mortero.*

*Montaje de una sección prefabricada de ferrocemento.*



La solución a base de medios arcos con articulación central se adapta bien a la prefabricación. Las unidades pueden construirse sobre una mesa de colado hecha con un muro perimetral de tabique con altura máxima de 1 m aproximadamente, relleno de tierra o arena y firme de mortero. Para el montaje, siendo el peso únicamente de 2.5 ton, sólo se requiere una pluma para cada unidad. Se procede por pares de medios arcos elevando las piezas con su inclinación definitiva, se cierra la articulación central y se colocan los tensores antes del retiro de las plumas.

Si se prefiere prefabricar los arcos de 15 m de claro, puede utilizarse un molde compuesto de varias secciones en forma de dovelas, las cuales pueden construirse de ferrocemento en alguna de las formas antes descritas o de otro material. El peso de la pieza es de 5 ton y su montaje se realiza fácilmente empleando una pluma en cada extremo. Se requiere de un atirantamiento provisional para el retiro del molde.

La distribución del refuerzo dentro del mortero asegura una alta resistencia al agrietamiento y un buen grado de impermeabilidad. En este aspecto el elemento se comporta suficientemente bien sin tratamientos superficiales, pero se considera conveniente emplear un recubrimiento de protección.

### COMENTARIOS

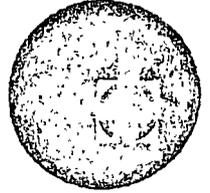
El sistema resulta interesante por su economía, facilidad de empleo y versatilidad. Por otro lado, admite un componente de mano de obra que puede hacerse variar ampliamente —desde una fabricación artesanal hasta una producción industrializada.

Es interesante también desde el punto de vista arquitectónico, ya que permite una libertad casi ilimitada en la creación de formas.

Por lo anterior, se considera que el arco de ferrocemento, diseñado adecuadamente, puede utilizarse como elemento para cubrir grandes áreas a un costo razonable.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN LA  
CONSTRUCCION

RESEARCH NEEDS AND THE FUTURE OF FERROCEMENT

DR. JAMES P. ROMUALDI

NOVIEMBRE, 1978.

Furthermore, the allowable stresses will no doubt be related to the type of application (tanks, roof elements, wall panels, etc.) and the type of reinforcement (ductile or high strength).

The above comments emphasize the fact that the principal research needs in ferrocement will continue to be in the area of understanding the mechanism whereby the reinforcement and matrix interact to distribute strains, improve first crack strength and control the size and spacing of cracks. It is unlikely that the full potential of this material will be realized by the introduction of an arbitrary definition related to degree of reinforcement dispersion. In fact, such an effort could prove counter productive. A design guide for ferrocement will probably emerge that provides for service stresses dependent upon:

- Type of structure
- Allowable crack width
- Type of reinforcement
- Amount of cover over reinforcement
- Dispersion of reinforcement

Given the complex research issues suggested above, there are of course a number of additional areas of research that will be necessary to fully realize the potential of ferrocement. These relate to impact resistance, fatigue strength, corrosion resistance and the effect of mix proportions and the corresponding mortar strengths. Also, one must research the effect of reinforcement type and distribution upon compressive strength and strength under combined, biaxial stress distributions.

Although such research topics will continue to be of considerable interest, the full exploitation of ferrocement as a viable construction material will, as indicated above, depend heavily upon a concerted research effort to determine the basic role of the closely spaced reinforcing elements upon the composite behavior. The reinforcement does not merely carry the tensile loads that cannot be assigned to concrete, as in the case of conventionally reinforced concrete: The interaction in the immediate vicinity of the reinforcing surfaces determines the extent to which the material as a whole behaves.

#### THE FUTURE OF FERROCEMENT

The extent to which ferrocement will continue to generate interest as a useful and economical alternative construction material depends not only upon the results of research efforts but upon the creativity and imagination of designers. However, to provide designers with the necessary tools, it will of course be important that useful design criteria and simplified methods of analysis be developed. This will not be easy because, as just suggested, we shall probably not arrive at a few allowable design stresses that will enable us to size elements by the straight-forward process of calculating loads and then dimensioning elements to a limiting stress. Rather, design criteria will be expressed in terms of projected use, allowable crack openings and type and dispersion of reinforcement. Nevertheless, the inherent complexity of ferrocement must be reduced to applicable design procedures.

Chief among the problems to be encountered is the issue of the allowable mortar cover. Current attempts to use ferrocement in building construction frequently run counter to code provisions for minimum cover. Full exploitation of this material will depend upon design specifications and definitions that can be adopted by local building officials.

Aside from the difficulty of interpreting research results in terms of design standards, the potential range of application of ferrocement is indeed broad and represents an existing design challenge. The ability to design thin elements that possess strength and ductility opens up concrete design to applications previously reserved for metals and plastics.

Not only are there exciting opportunities in the creation of new structural uses for this material, but construction and manufacturing procedures are equally challenging. The placing of layers of steel mesh and subsequently impregnating them with mortar is inherently a labor intensive process, and the future of ferrocement will be directly related to the extent that the process is automated or otherwise made more efficient.

#### SUMMARY

The future of ferrocement will depend as much upon design creativity as it will depend upon a long and laborious research effort. It is important to recognize that ferrocement, like fiber reinforced concrete, enables us to design for a range of tensile stresses and strains far beyond that previously permitted. This feature, combined with the absence of a thick cover requirement over the reinforcing, provides great flexibility in designing roofs, walls, liquid containers and precast architectural forms that could provide factory finish surfaces for members that are cast in the field.

Hopefully this symposium, the first technical meeting devoted to ferrocement in the United States or Canada, will be the beginning of the long path that must be followed before this material gains ready acceptance in construction.

# RESEARCH NEEDS AND THE FUTURE OF FERROCEMENT

by

James P. Romualdi\*

## INTRODUCTION

The paradox associated with ferrocement is that it is both one of the oldest and yet one of the newest form of reinforced concrete. The construction of a small row boat by Lambot in 1848, consisting of a skeletal form of interwoven steel rods impregnated with mortar, emphasizes in stark contrast the recentness of the revived interest in this material. In the century since Lambot's first construction, the focus was on conventionally reinforced concrete, which has the distinct characteristic of requiring that the reinforcement be placed in a form which is subsequently filled with concrete. The primary role of the reinforcement in conventional reinforced concrete is to resist tension, and the effect on crack control is of secondary importance. It has been only within the past few decades that ferrocement has been resurrected (as was Lambot's boat) and is now being viewed as a viable and quite unique construction material.

Even the revival of ferrocement has seen two distinct stages. During the fifties and sixties, almost all efforts devoted to ferrocement were related to marine construction; mostly for private pleasure craft but not insignificantly for the construction of work boats and fishing vessels. In the early seventies, however, partially sparked by the publication by the National Academy of Sciences of a widely circulated report titled "Ferrocement: Applications in Developing Countries", there was a realization that this material has a much broader application in terrestrial structures than its previous, somewhat limited, marine applications. Subsequent developments within the past several years have progressed rapidly and ferrocement is now seriously considered to be a structural material with unique characteristics and uses.

To assess the research needs and to evaluate the future of ferrocement, however, one must also consider the recent and somewhat parallel development and growth of fiber reinforced concrete. Like Kipling's the colonel's lady and Judy O'Grady, fiber reinforced concrete and ferrocement are "sisters under the skin". Both depend upon a subdivision of closely spaced, relatively small diameter reinforcing elements which, by virtue of their close spacing and high specific surface area, impart a degree of crack control and toughness such that, for all practical purposes, these two materials are quite distinct from conventionally reinforced concrete.

From an applications point of view, however, fiber reinforced concrete and ferrocement differ in several practical ways. Fiber reinforced concrete must be cast in forms (with the exception of steel

\* Professor of Civil Engineering at Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania. Chairman of ACI Committee 549 (Ferrocement) and ancient member of ACI Committee 544.

fiber shotcrete or gunnite), whereas ferrocement can be shaped into surfaces of any desired configuration, the steel armature itself providing the necessary rigidity, and the mortar forced in and around the reinforcing cage. The former process is obviously less labor intensive (the fibers are merely added to the concrete mix).

Although the provision of multiple layers of mesh for reinforcing is more labor intensive, the post-cracking tensile strength of ferrocement is obviously greater than that of fiber reinforced concrete because the ultimate strength is dictated by the ultimate tensile strength of the individual elements. Thus, the trade-offs between fiber reinforced concrete and ferrocement are complex and depend much upon the expected use of the finished product. In this respect, it is of considerable significance that one of the subjects discussed in this symposium is the combining of fiber reinforced concrete with a relatively coarse steel mesh in an attempt to gain the inherent advantages of both fiber reinforced concrete and ferrocement. The resultant composite construction has been called fibrous ferrocement.

The practical differences between fiber reinforced concrete and ferrocement do not detract from their more fundamental similarities. Both materials provide a high degree of crack control and improved cracking strength such that the composite material is assigned a design tensile strength and, correspondingly, a design shear strength. This unique characteristic raises a number of questions that bear upon both immediate research needs and the future of ferrocement.

#### RESEARCH NEEDS

Among the more pressing problems relating to the development of ferrocement is the question of its very definition. This may appear to be a routine matter, but it is of fundamental importance. The desirable characteristics of ferrocement are related to the distribution and subdivision of the reinforcement throughout the mortar. But, at what point in the subdivision is ferrocement just another form of reinforced concrete? There have been attempts to set lower limits of specific surface area or volume percent of reinforcement that would establish the boundary between ferrocement and reinforced concrete. But such efforts could be misleading if, in fact, the strength or performance characteristics are a continuous function of the degree of subdivision of the reinforcement. The issue becomes even more complex when one recognizes that, in many ferrocement applications, the reinforcement can take the form of rod type reinforcement used in combination with mesh of relatively small diameter elements. Thus, the specifications of a minimum volume fraction of reinforcement or an average specific surface area could be quite misleading.

The problem of defining ferrocement as a function of the dispersion of reinforcement is brought more into focus when one considers the question of allowable tensile stress. Inasmuch as the definition of an allowable service stress could in fact be related to an allowable crack width, we could be faced with the dilemma of having design stresses related to the manner in which the reinforcement is dispersed.