

I-36

U.N.A.M.

Facultad de Ingeniería

**Aplicación del Ferrocemento a Cubiertas de
Grandes Claros**

T E S I S
Que para obtener el título de :
I N G E N I E R O C I V I L
p r e s e n t a :
M I G U E L C H A V E Z D O M I N G U E Z

México, D. F.

1979





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-52

Al Pasante Señor MIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"APLICACION DEL FERROCEMENTO A CUBIERTAS DE
GRANDES CLAROS"

1. Introducción
2. Materiales
3. Indices de resistencia
4. Recomendaciones de diseño
5. Aspectos constructivos
6. Diseño y construcción de cubiertas de grandes claros
7. Conclusiones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 2 de marzo de 1978
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EVC/GSA/imp.

I N D I C E .

		PAG.
	INTRODUCCION	1
1.	MATERIALES Y COMPONENTES	4
2.	RECOMENDACIONES DE DISEÑO	6
2.1.	Parámetros empleados para determinar las pro piedades del Ferrocemento	6
2.2.	Esfuerzos de Tensión	8
2.3.	Esfuerzos de Compresión	9
2.4.	Esfuerzos de Flexión	11
2.5.	Módulo de Elasticidad	12
2.6.	Carga de Impacto	12
2.7.	Permeabilidad	13
2.8.	Pruebas Térmicas	13
2.9.	Control de Calidad	14
3.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	16
3.1.	Ventajas del uso del Ferrocemento	18
3.2.	Aplicaciones Potenciales del Ferrocemento ..	20
3.2.1.	El Ferrocemento para botes de uso local	20
3.2.2.	El Ferrocemento aplicado a instalaciones para almacenar alimentos	21
3.2.3.	El Ferrocemento en la tecnología de alimentos	22
3.2.4.	El Ferrocemento para techos de bajo costo	24
3.2.5.	El Ferrocemento en zonas de socorro ante -- desastres	25

	PAG.	
4.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS.....	28
4.1.	Objetivos.....	28
4.2.	Forma de la Estructura.....	28
4.3.	Construcción de la Sección de Cubierta de -- 15.00 m de claro.....	29
4.3.1.	Prueba dinámica.....	33
4.3.2.	Pruebas de carga vertical.....	35
4.3.3.	Costo.....	38
	A. Costos Básicos.....	38
	B. Costo de materiales.....	39
	C. Tipos de Bodegas.....	40
4.3.3.1.	Primer Caso - Cubierta entera con molde de- fibra de vidrio.....	40
4.3.3.2.	Segundo Caso - Arco de ferrocemento en dos partes, colado sobre el terreno.....	43

TABLAS.

1. Propiedades físicas de las mallas de refuerzo.
2. Pruebas dinámicas al arco de 15 m de claro.
3. Resultados de las pruebas de carga vertical al arco de - -
15 m de claro con articulación al centro del claro.

FIGURAS.

1. Mallas utilizadas en el estudio de la eficiencia del refuerzo
2. Dimensiones del cono de tamaño reducido.
3. Secciones transversal y longitudinal de una cubierta de -
15 m de claro.
4. Detalle de la articulación en el centro del claro.
5. Perfil de la sección de cubierta mediante tarraja especial.

FOTOS.

1. Fabricación de pequeños botes de ferrocemento.
2. Silos de ferrocemento.
3. Techumbre de ferrocemento.
4. Arco de ferrocemento con articulación al centro del claro.
- 5 a 11. Detalles del armado de la cubierta de 15 m. de claro.
12. Montaje de la cubierta en los muros de prueba, mediante -
pluma de carga.
- 13 a 16. Prueba de carga vertical.
17. Equipo para pruebas dinámicas.
- 18 y 19. Arco de ferrocemento con articulación al centro.

REFERENCIAS.

INTRODUCCION.

Con el nombre de Ferrocemento se conoce al material constructivo, formado por varias capas de refuerzo a base de mallas metálicas, incorporadas a un mortero de cemento-arena, generalmente con un alto porcentaje de cemento, lo que produce un mortero con características de permeabilidad y resistencia muy favorables.

Dentro de los sistemas constructivos actuales, el ferrocemento cubre un renglón muy importante, dadas sus características de resistencia, permeabilidad, bajo costo, mano de obra no especializada, reparación fácil de daños y de no requerir instalaciones o equipos costosos, lo que hace colocarlo en un lugar muy significativo en el medio rural con grandes repercusiones en el área socio-económica.

Este material se ha estudiado desde 1847 con relativamente pocas aplicaciones a pesar de los múltiples usos para los cuales puede ser aprovechado.

Los países en desarrollo pueden y deben sacar el máximo beneficio del ferrocemento, ya que los materiales básicos están disponibles en la mayoría de ellos. Se puede fabricar casi cualquier forma que satisfaga las necesidades del usuario: debidamente elaborado es más duradero que la mayoría de las maderas y más económico que el acero. La destreza para la construcción con ferrocemento se adquiere rápidamente e incluye muchas habilidades tradicionales en los países en desarrollo.

Para la elaboración del ferrocemento no se requieren grandes plantas o maquinaria pesada, aún para diseños altamente sofisticados como son, depósitos grandes para agua, solo se requiere de un supervisor instruido el cual puede lograr los requisitos de control de calidad, utilizando mano de obra no especializada para la fabricación.

Investigación exploratoria sobre las aplicaciones del ferrocemento indican la necesidad de investigar y desarrollar un amplio programa con objeto de explicar todos sus usos potenciales.

La exploración de estas aplicaciones se presta excepcionalmente bien para realizarse en los países en desarrollo, pero corresponde a los países industrializados la función de investigar la posibilidad de adaptar tecnologías refinadas en la aplicación del ferrocemento, por ejemplo en componentes industrializados fabricados con precisión.

Existen investigaciones muy especializadas que involucran por ejemplo, el análisis de las interconexiones entre los alimentos almacenados y las superficies de mortero. Existen otras aplicaciones tan especulativas que por el momento solo se justifican estudios bibliográficos. A estos trabajos deben dedicarse instituciones de investigación, laboratorios de ingeniería, corporaciones capacitadas para llevar a cabo investigación y desarrollo, escuelas técnicas, universidades o individuos con capacidad de innovación.

Con este trabajo se pretende señalar las características mecánicas del comportamiento del ferrocemento, así como los usos -

posibles del material, proponer procesos constructivos sencillos tales que, en forma casi artesanal, entidades de escasos recursos estén en condiciones de construir diversas estructuras que satisfagan sus necesidades inmediatas aprovechando los recursos humanos.

1. MATERIALES Y COMPONENTES.

En el estudio se utilizaron materiales constructivos existentes en el mercado y de fácil adquisición en el Distrito Federal.

En la elaboración del ferrocemento generalmente se consumen grandes cantidades de cemento, con lo que se obtiene un material con buenas características en cuanto a resistencia y permeabilidad.

Como refuerzo pueden utilizarse varios tipos de mallas, - cuyas características físicas se presentan en la Tabla 1. Es usual utilizar retículas de barras de refuerzo de pequeño diámetro, lisas o corrugadas, cuya función es proporcionar resistencia al conjunto, ya sea por tensión o impacto; asimismo sirven como elemento rigidizante al refuerzo para darle forma a la estructura.

De todos los tipos de malla seleccionados por su funcionalidad en cuanto a forma, resistencia, tamaño, etc. (Tabla 1), se escogieron las mallas cuadradas soldadas, las de tela de gallinero hexagonal y las de metal desplegado, consideradas como más representativas y más aceptables por su adaptabilidad al molde y facilidad de aplicar el mortero.

La función de las mallas de refuerzo es resistir los esfuerzos de tensión y limitar el agrietamiento.

De las mallas disponibles en el mercado, únicamente las - cuadradas entrelazadas y electrosoldadas, pueden considerarse con un comportamiento isotrópico. Las mallas de metal desplegado y las hexagonales de gallinero, solo trabajan en la dirección-

en la que se encuentran los alambres. Para estas mallas, los esfuerzos de tensión que se alcanzan en dirección perpendicular - son del orden del 30 por ciento de los obtenidos en la dirección - de los alambres, para valores de superficie específica similares.

2. RECOMENDACIONES DE DISEÑO.
- 2.1. PARAMETROS EMPLEADOS PARA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO.

Volumen de Refuerzo.

Se define como volumen de refuerzo a la relación existente entre el volumen de acero de refuerzo en la zona de prueba y el volumen del espécimen en esa misma zona.

$$V_R = \pi \frac{d^2 n}{4 a t}, \quad \text{en \%}$$

Superficie Específica.

Se define como tal, a la superficie de contacto del acero de refuerzo en la zona de prueba entre el volumen del espécimen en esa zona.

$$S_L = \pi \frac{d n}{a t}, \quad \text{en cm}^{-1}$$

donde:

V_R	Volumen de refuerzo
S_L	Superficie específica
d	Diámetro del alambre
n	Número de capas de malla
a	Espaciamiento del alambre
t	Espesor del espécimen.

Tomando en cuenta las investigaciones efectuadas en otros países, el refuerzo debe tener una superficie específica superior a 0.5 cm.^{-1} . Los valores más usuales varían entre 2 y 3 cm.^{-1} . Para tener idea de la cantidad de refuerzo que esto implica, si se considera una placa de 1 cm de espesor, reforzada con dos capas de malla de metal desplegado de 600 gr/m, cuyas características se indican en la figura, se alcanzaría el siguiente valor de superficie específica:

$$\text{Perímetro} = 2(0.1 + 0.05) = 0.3 \text{ cm.}$$

$$\text{factor debido a la inclinación de los alambres} = \sqrt{1^2 + 0.5^2} = 1.12$$

$$n = 2 \text{ capas}$$

$$a = 0.5 \text{ cm.}$$

$$t = 1 \text{ cm.}$$

$$S_L = \frac{1.12 \times 0.3 \times 2}{0.5 \times 1} = 1.35 \text{ cm}^{-1}$$

2.2. ESFUERZOS DE TENSION.

Para el diseño de las estructuras de ferrocemento, su comportamiento desde el punto de vista del agrietamiento o resistencia, puede ser determinante. Los esfuerzos de tensión a los que se produce el agrietamiento inicial, resultan ser proporcionales a la superficie específica del refuerzo, este esfuerzo se puede determinar mediante las fórmulas siguientes:

Para un ancho de grieta de 0.02 mm., con refuerzo de metal desplegado o malla de gallinero y con superficie específica mayor a 1 cm^{-1}

$$f_t = 11 + 12 S_L \geq 25 \text{ en kg/cm}^2 \quad (1)$$

Para un ancho de grieta entre 0.05 y 0.10 mm., para malla hexagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm.) y superficie específica mayor que 0.5 cm^{-1} .

$$f_t = 13.8 + 13.4 S_L \geq 20 \text{ en kg/cm}^2 \quad (2)$$

Para determinar los esfuerzos de tensión máximos promedio se pueden aplicar las expresiones siguientes:

$$f_{t \text{ máx.}} = 17.8 + 32.4 S_L \geq 25 \text{ en kg/cm}^2 \quad (3)$$

$$f_{t \text{ máx.}} = 38 V_R^{0.69} \geq 25 \text{ en kg/cm}^2 \quad (4)$$

Para la malla hexagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm) en la

dirección de los alambres, se pueden utilizar las expresiones siguientes:

Para valores de superficie específica entre 0.5 y 2 cm⁻¹ -
con volumen de refuerzo entre 0.5 y 2%:

$$f_t \text{ máx.} = 16 + 17.1 S_L \cong 20 \text{ en kg/cm}^2 \quad (5)$$

$$f_t \text{ máx.} = 29 V_R^{0.47} \cong 20 \text{ en kg/cm}^2 \quad (6)$$

2.3. ESFUERZOS DE COMPRESION.

Al aumentar la cantidad de refuerzo, la resistencia a compresión del ferrocemento disminuye. Esta variación es pequeña para valores de superficie específica menores que 1 cm⁻¹ y decrece rápidamente para valores S_L comprendidos entre 1 y 2 cm⁻¹ y existe la tendencia a mantenerse constante desde este valor. Respecto a las reducciones máximas obtenidas en la resistencia del mortero, éstas fueron para los especímenes fabricados con metal desplegado de 600 gr/m, del 39 por ciento; para los de metal desplegado de 1000 gr/m del 53 por ciento, y para los de malla hexagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm) del 63 por ciento.

La resistencia del mortero obtenida de especímenes semejantes a los de ferrocemento, fue básicamente igual a la de los cilindros de 5 cm. de diámetro y 10 cm de altura, resultando de un 20 a un 30 por ciento menor de la obtenida en los especímenes estándar (cubos de 5 x 5 x 5 cm).

Para el ferrocemento, la resistencia a compresión para un mortero del orden de 500 kg/cm^2 (en cubos) puede determinarse en función de la superficie específica y del volumen del refuerzo mediante las fórmulas siguientes:

Para las mallas de metal desplegado de 1000 gr/m :

$$f_c = 384 - 91.5 S_L + 7.5 S_L^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2 \quad (7)$$

$$f_c = 383 - 51.4 V_R + 2 V_R^2 \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad (8)$$

Para mallas de metal desplegado de 600 gr/m

$$f_c = 479.7 - 220.6 S_L + 42 S_L^2 \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad (9)$$

$$f_c = 478 - 161.8 V_R + 22.9 \times V_R^2 \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad (10)$$

Para las mallas hexagonales (galinero de $14.3 \times 19 \text{ mm}$), se utilizarán las fórmulas siguientes:

$$f_c = 515 - 417 S_L + 113 S_L^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2 \quad (11)$$

$$f_c = 459 - 317.5 V_R + 75 V_R^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2 \quad (12)$$

Los valores de las deformaciones unitarias a compresión del ferrocemento, para valores de superficie específica mayores de 1 cm^{-1} , son del orden de 0.0015 , mientras que el mortero al -

-canza deformaciones unitarias a la falla del orden de 0.0026.

2.4 ESFUERZOS DE FLEXION.

Para la aparición de la primera grieta en tensión por flexión la distribución del acero en la sección, tiene una influencia determinante, no ocurriendo lo mismo en el comportamiento posterior al agrietamiento. Para cualquier etapa de comportamiento los esfuerzos de flexión son proporcionales a la cantidad de refuerzo e independientes al tipo de malla utilizado. Al final de la etapa de comportamiento elástico, que se presentó para una flecha al centro del claro de 0.2 cm, para un claro de 60 cm, los esfuerzos de flexión se pueden calcular con las fórmulas siguientes:

$$f_{f0.2} = 36.9 + 12.1 S_L \quad \text{en kg/cm}^2 \quad (13)$$

$$f_{f0.2} = 43.7 + 6 V_R \quad \text{en kg/cm}^2 \quad (14)$$

$$S_L \text{ en cm}^{-1} \text{ y } V_R \text{ en } \%$$

Para determinar los esfuerzos de tensión máximos promedio, en función de S_L y V_R , se pueden utilizar las fórmulas siguientes:

$$f_f = 19.5 + 92.6 S_L \quad \text{en kg/cm}^2 \quad (15)$$

$$f_f = 64.2 + 47.6 V_R \quad \text{en kg/cm}^2 \quad (16)$$

en donde

$$S_L \text{ en cm}^{-1} \text{ y } V_R \text{ en } \%$$

La malla hexagonal en dirección transversal a la de los -- alambres, no modifica el comportamiento por flexión y alcanza -- prácticamente los mismos esfuerzos sin importar la cantidad de re fuerzo colocado.

2.5 MODULO DE ELASTICIDAD.

Los valores que se indican a continuación, son recomenda-- bles para morteros con resistencia superior a 400 kg/cm^2 (medida en cubos) y superficie específica superior a 2 cm^{-1} :

$$E \text{ Compresión} = 200,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E \text{ Tensión.} = 50,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E \text{ Flexión.} = 100,000 \text{ kg/cm}^2$$

2.6 CARGA DE IMPACTO.

En esta prueba se determinó que la posición del acero de - refuerzo tiene una importancia determinante en el comportamien- to del material ante cargas de impacto, requiriéndose mayor ener- gía para producir un ancho de grieta dado, cuando se tiene una - distribución más uniforme del refuerzo.

La malla hexagonal (gallinero de $14.3 \times 19 \text{ mm}$) absorbe un 50 por ciento más de energía que las de metal desplegado, para - idénticos niveles de agrietamiento y para cantidades semejantes - de acero de refuerzo. La energía requerida para un determinado ancho de grieta, aumenta a medida que se incrementa la cantidad de refuerzo hasta alcanzar valores óptimos, a partir de los cua-- les la energía se mantiene constante y hasta disminuye. Para las

mallas estudiadas las cantidades de refuerzo óptimas se indican como sigue:

$$\text{Metal desplegado: } S_L = 2.7 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{Malla Hexagonal: } S_L = 1 \text{ cm}^{-1}$$

2.7 PERMEABILIDAD.

Los factores que determinan el grado de permeabilidad -- del ferrocemento, dependen en mayor grado de las características del mortero, de la compactación lograda en la colocación y -- del curado utilizado. El refuerzo no tuvo influencia en el comportamiento por este efecto, asimismo, el espesor interviene en forma directa. Para una carga de agua de 10 cm de tirante a presión atmosférica, las placas de 1 cm. de espesor permitieron el humedecimiento total de la superficie inferior a las 24 horas de prueba; las de 3 cm presentaron únicamente manchas aisladas -- después de 24 horas sin incrementarse hasta los siete días en que se suspendió la prueba. Las placas de 5 cm de espesor no presentaron ninguna huella de humedecimiento por la cara inferior -- al cabo de los siete días de prueba. Los ciclos de humedecimiento y secado aplicados a las placas, no afectaron las características de impermeabilidad.

2.8 PRUEBAS TERMICAS.

Comparando las deformaciones del ferrocemento con las -- del concreto por efecto de la temperatura, se puede decir que -- las del ferrocemento fueron menores, del orden de $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ --

contra $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ de concreto en condiciones de humedad ambiente.

Respecto al coeficiente de conductividad térmica (K) promedio, el del ferrocemento resultó ser del orden de $0.8 \text{ kg-cal/hr/m}^2/^{\circ}\text{C}$ ($6.5 \text{ Btu/hr/ft}^2/^{\circ}\text{F}$), que es inferior al del concreto ordinario, pero resultó ser mayor que la correspondiente a los concretos ligeros.

En cuanto a la transmisión de calor el comportamiento del ferrocemento al variar el espesor de las placas se asemeja más al del concreto ordinario que al de los concretos ligeros.

En placas delgadas el efecto de superficie en la transmisión del calor es más notorio, que en muros o losas de espesores superiores a los 10 cm.

2.9 CONTROL DE CALIDAD.

Controlando la consistencia de las mezclas de mortero mediante la prueba de revenimiento, se puede conseguir uniformidad en la resistencia del mortero, midiendo el revenimiento en cono de tamaño reducido según dimensiones que se indican en la figura Nc 2.

Para determinar la resistencia a compresión de los morteros, se utilizaron cilindros de $5 \times 10 \text{ cm}$, obteniéndose resistencias del orden del 60 por ciento de las alcanzadas en el ensaye de cubos estándar de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$.

La desviación estándar de la resistencia a compresión de los morteros ensayados en cilindros de 5 x 10 cm fuè de 24 kg/cm^2 -- con un coeficiente de variación de 7.3 por ciento.

Se recomienda efectuar pruebas de resistencia a tensión, de las mallas que se piensan utilizar, debido a que ésta puede variar según el fabricante. En algunas mallas trabajando solas, esta resistencia varía de la obtenida cuando están ahogadas en el mortero, como es el caso de las mallas de metal desplegado y de gallinero, que incrementaron su resistencia a tensión al doble, al ser ensayadas en conjunto con el mortero.

3. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

Es recomendable que la arena utilizada para la elaboración del mortero sea cribada por la malla No. 4, considerando la separación usual entre las mallas de refuerzo y los espesores pequeños empleados para las estructuras de ferrocemento.

Para la construcción de estructuras de ferrocemento se recomienda utilizar morteros con relación arena/cemento = 1.75 en peso. Según el método de compactación de que se disponga y -- del refuerzo que se utilice, variará la consistencia de la mezcla. Un revenimiento de 2.5 cm, (en cono modificado), se puede considerar como representativo de una mezcla trabajable, factible - de compactar manualmente en estructuras con pocas capas de malla de refuerzo.

Las mallas de refuerzo recomendables para estructuras de ferrocemento, son las cuadradas electrosoldadas, las de metal -- desplegado y las hexagonales (gallinero).

Considerando la resistencia a tensión, para un ancho de grieta cualquiera así como para la resistencia última, las mallas pueden ser clasificadas de la siguiente manera de acuerdo con su efectividad:

Cuadrada de 13 x 13 mm

Metal desplegado de 10 x 20 mm (600 gr/m)

Cuadrada de 6.3 x 6.3 mm

Hexagonal de 14.3 x 19 mm (gallinero chica)

Hexagonal de 26 x 39 mm (gallinero grande)

Si el agrietamiento se considera como respuesta, las mallas se pueden clasificar, suponiéndolas de igual superficie específica de la siguiente manera, de acuerdo con su efectividad:

Metal desplegado de 10 x 20 mm (600 gr/m)

Hexagonal de 14,3 x 19 mm (gallinero chica)

Cuadrada de 6,3 x 6,3 mm

Hexagonal de 26 x 39 mm (gallinero grande)

De acuerdo a su eficiencia (costo por kg/cm^2 de resistencia a tensión), la clasificación queda de la siguiente manera:

Metal desplegado 10 x 20 mm (600 gr/m)

Cuadrada 13 x 13 mm

Cuadrada 6,3 x 6,3 mm

Hexagonal 14,3 x 19 mm (gallinero chica)

Hexagonal 26 x 39 mm (gallinero grande)

La compactación se puede realizar por medios normales presionando el mortero contra la cimbra manualmente o por vibrado externo, consiguiendo una buena compactación si la consistencia de la mezcla es adecuada. No existe ninguna diferencia por el método de colado utilizado en cuanto a los ensayos a tensión, compresión y permeabilidad; en flexión la compactación manual retarda la aparición de la primera grieta, las pruebas de impacto presentaron un comportamiento más desfavorable cuando los especímenes se vibraron,

Es conveniente utilizar una membrana de curado eficiente por ambas caras de la superficie expuesta de las estructuras de ferrocemento durante siete días, aplicándose cuando la estructura esté todavía húmeda. Esta recomendación es conveniente debido a la gran superficie expuesta de este tipo de estructuras, a fin de que no pierdan humedad debido a las condiciones atmosféricas: como son el calor y el viento principalmente.

3. 1 VENTAJAS DEL USO DEL FERROCEMENTO.

Como puede apreciarse, la elaboración del ferrocemento -- presenta grandes ventajas en comparación con los sistemas constructivos tradicionales.

- a). Únicamente requiere como agregado inerte, arena cribada por la malla No. 4; no así el concreto que utiliza tanto arena como grava de tamaño ya especificado.
- b). La relación agua/cemento se controla con mayor facilidad en el mortero para ferrocemento, que para la elaboración de concretos normales.
- c). La utilización de cimbras para la fabricación de piezas de ferrocemento solo se requerirá para acabados muy especiales, aún así puede tener una vida útil de cinco o seis aplicaciones, existe la posibilidad de aprovechar los accidentes del terreno, los cuales una vez habilitados pueden servir de base para la elaboración de las piezas de ferrocemento.

- d). El refuerzo del ferrocemento es de fácil aplicación, únicamente se deberá tener cuidado en la separación adecuada entre las diferentes capas de refuerzo que se utilicen. Debido a que el refuerzo viene en mallas de extensión controlable, éste se puede aplicar para grandes superficies con gran rapidez, no siendo el caso de las estructuras de concreto armado tradicionales.
- e). La aplicación del mortero para las estructuras de ferrocemento puede realizarse manualmente o mediante vibrado mecánico; para las estructuras de concreto ordinario, esta aplicación debe realizarse mediante vibradores mecánicos, debido a las secciones de los elementos estructurales que son de mayor dimensión que las de ferrocemento.
- f). Para las estructuras de ferrocemento es recomendable un curado de siete días como el que se destina para los morteros normales, para las superficies de concreto ordinario, este curado es de un término semejante.
- g). La transportación de los elementos fabricados de ferrocemento debido a su escaso peso, es de mucha mayor facilidad que la de elementos prefabricados, ya que éstos por su elevado peso, incrementarán su costo de transportación.
- h). Como consecuencia de la característica anterior, la colocación de los elementos fabricados de ferrocemento, será de mayor facilidad que la de los elementos de concreto prefabricados o colados en el lugar.

- i). Los elementos de liga como pueden ser tapajuntas entre piezas de ferrocemento, son de fácil fabricación y por tal motivo no presentan dificultad para ser elaborados al pié de obra, reuniendo las características de elementos de fabricación en serie. con la ventaja de que no requieren mano de obra especializada para ser elaborados.
- j). La reparación de estructuras de ferrocemento es de gran facilidad, ya que no requiere mano de obra especializada y únicamente con el mortero adecuado y las mallas de refuerzo necesarias de sustitución, se logra dar una superficie original, no siendo así con las estructuras tradicionales de concreto.

3.2 APLICACIONES POTENCIALES DEL FERROCEMENTO.

3.2.1 El Ferrocemento para botes de uso local.

Se recomienda el uso del ferrocemento como sustituto de materiales que se han venido usando hasta ahora en la construcción de botes de uso restringido. El número elevado de experimentos llevados a cabo con éxito confirma su viabilidad técnica.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización de las Naciones Unidas para Desarrollo Industrial (ONUDI), tomaron la iniciativa de introducir el ferrocemento en países en vías de desarrollo y demostrar su importancia en el contexto de desarrollo de dichos países. Este estudio referido a los barqueros de modo particular, -

ya sea que se dediquen a la pesca con fines comerciales o de subsistencia, les beneficiaría al disponer de pequeños botes a motor, de líneas sencillas, hechos de ferrocemento que entre otras ventajas tendrían bajo precio, larga vida y fácil reparación.

Esto podría afectar en forma significativa el desarrollo económico debido al elevado número de botes involucrados y al notable aumento en su duración.

Las características peculiares de bajo precio de los materiales, dureza, fácil mantenimiento y reparación, se prestan a la fabricación de pequeños botes de uso local, que pueden realizar la los usuarios bajo supervisión adecuada. Foto (1)

La condición de que el ferrocemento no es susceptible al ataque de teredos (gusanos de barco), carcoma y otros peligros de los trópicos lo hacen más atractivo. Debido a su solidez, los botes de ferrocemento pueden ser motorizados en tanto que muchos botes de madera comparables no son lo suficientemente sólidos para resistir elementos impulsores mecánicos.

3.2.2. EL FERROCEMENTO APLICADO A INSTALACIONES PARA ALMACENAR ALIMENTOS.

Dada la necesidad urgente de preservar granos y otras cosechas de alimentos en países en vías de desarrollo, se justifica implantar grandes ensayos de campo sobre el uso del ferrocemento en la construcción de silos para depósitos y almacenaje.

En ambientes tropicales, las temperaturas elevadas y la humedad

promueven el crecimiento de moho y la putrefacción de los productos alimenticios. Casi un 25% de las cosechas anuales de alimentos en los países en desarrollo se malogran o son inaprovechables para el consumo, a causa de defectos en la manipulación, métodos e instalaciones. Foto 2. (silos).

La impermeabilidad del ferrocemento está probada con los innumerables botes que navegan por las vías fluviales del mundo.

Los silos de ferrocemento son herméticos y así lo que queda en su interior es rápidamente desprovisto del oxígeno, y los insectos, (larvas, huevos) o cualquier otro microorganismo aerobio que se haya podido introducir con el grano, son aniquilados.

La seguridad en el almacenaje de cereales y otros alimentos, tales como legumbres y granos oleaginosos, puede ayudar a los agricultores de los países en vías de desarrollo a tener más confianza en sus propios recursos y a la vez contribuir de manera importante a la economía del país y a las reservas de alimentos, ya que no se deben dar el lujo de tener pérdidas de grano por los roedores, insectos, etc

3.2.3 EL FERROCEMENTO EN LA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

Teniendo en cuenta las propiedades, disponibilidad, facilidad de manufactura y confiabilidad del ferrocemento, se recomienda que los organismos de investigación hagan un gran esfuerzo para investigar su uso como sustituto del acero, en especial del acero inoxidable, por lo menos en la fabricación de algunas piezas o unidades del equipo para procesar productos alimenticios.

Alimentos que son deteriorables en alto grado y que resultan invariablemente afectados por cambios de temperatura y contaminantes biológicos y químicos que se pierden para la humanidad por la falta de plantas rurales de procesamiento, que preserven, transporten o procesen los productos alimenticios inmediatamente después de cosechados.

Los niveles de nutrición se mejorarían y se podrían satisfacer las necesidades de pequeñas plantas de procesamiento de alimentos en países en vías de desarrollo que utilizan una alta proporción de mano de obra.

Entre las ventajas para la utilización del ferrocemento en equipos para procesar alimentos, figuran:

- 1) Su elaboración se realiza con materiales locales.
- 2) Solidez estructural y confiabilidad.
- 3) Fácil elaboración, económica y versátil.
- 4) Fácil mantenimiento y reparación.
- 5) Fácil transportación de las materias primas requeridas.

Se requiere desarrollar una investigación primaria muy intensa, en especial referente a las propiedades sanitarias de las estructuras de ferrocemento y a su capacidad para llenar otros requisitos inherentes al procesamiento de alimentos. Sin embargo, hay conciencia de que vale la pena hacer un esfuerzo en este sentido, en vista de que el ferrocemento se presta según parece para:

- a). El procesamiento para la preservación de frutas y legumbres.
- b). Cubas o tanques de fermentación de salsas de pescado, salsa de soja, cerveza, vino, etc.
- c). Tanques para depósito de jugos, aceite vegetal, suero de leche, o agua potable.
- d). Multitud de otros fines, desecadores para pulverización de leche, desecadores de copra, cocinas y hornos a gas, lecherías, cañerías, frigoríficos y mataderos.

3. 2. 4 EL FERROCEMENTO PARA TECHOS DE BAJO COSTO.

Se considera que el ferrocemento puede resultar apropiado como material para techos de bajo costo en países en vías de desarrollo. Los laboratorios de ciencias aplicadas en los países en desarrollo y las agencias que patrocinan la investigación aplicada, deberían considerar seriamente la realización de estudios tecnoeconómicos y pruebas de campo sobre esta aplicación del material.

Para el ser humano, contar con un albergue adecuado es una necesidad, y en todo albergue el techo es un elemento básico. Los materiales actuales no satisfacen los requisitos inherentes a éstos. La mayoría de los ochenta países en vías de desarrollo en el mundo, padecen de escasez de viviendas como resultado del aumento de la población, la migración interna y algunas veces por motivos bélicos o por desastres naturales. En la mayoría de las moradas de los países en vías de desarrollo, un techo durable representa el gasto principal. Los techos fabricados con mate--

-riales de la localidad tan baratos como pueden ser por ejemplo: hierba o caña o productos derivados de la tierra (arena, barro, - rocas), son generalmente de poca firmeza. Un problema adicional es la necesidad de contar con estructuras con soporte adecuado y duradero.

Debido a su bajo costo, durabilidad, resistencia a la intemperie y por su versatilidad, el ferrocemento representa una solución al problema de techos. Elaborado con los materiales tradicionales, este material puede moldearse fácilmente en forma de cúpulas, bóvedas, perfiles estructurales, superficies planas, etc. -- Por su facilidad de elaboración, realizada por obreros del lugar bajo supervisión y con materiales de la región, calificaría de excelente medio para la manufactura de tejas pequeñas o grandes - (rípias) y de otros elementos de techado. Foto 3 (techos).

De ferrocemento se pueden fabricar vigas en sustitución - de las estructuras de madera que sostienen los elementos de manufactura natural que cubren el techo.

Su uso más económico pasaría a ser en la elaboración de - techos de dimensiones relativamente grandes. El ferrocemento a pesar de sus excelentes cualidades no se utiliza con la debida -- frecuencia.

3. 2, 5 EL FERROCEMENTO EN ZONAS DE SOCORRO ANTE DESASTRES.

Se recomienda que las organizaciones de socorro en casos de desastre consideren cuidadosamente el ferrocemento. Esta re

-comendación incluye a todas las aplicaciones potenciales del ferrocemento en los países en vías de desarrollo. Después de incendios, inundaciones, sequías y terremotos, las necesidades de alimento, agua potable y requerimientos de salud pública, son urgentes. A menudo el transporte se interrumpe a consecuencia de la destrucción de caminos, puentes, barcos y pistas de aterrizaje. La transportación de los elementos básicos del ferrocemento es fácil o en su defecto éstos se pueden localizar en el lugar.

Entre las características del ferrocemento y su versatilidad, se encuentra además la de reducir los problemas de abastecimiento: tela metálica, cemento, arena y agua pueden hacer las veces del metal utilizado para reforzar techos de cemento y paredes, madera o plástico para la construcción de albergues o clínicas, asfalto para helipuertos, acero para puentes y así sucesivamente. Más aún, la mayoría de las estructuras de ferrocemento, hechas para remediar una situación de emergencia, durarán mucho después de que haya pasado la situación de emergencia.

Se recomienda utilizar el ferrocemento en lugares de desastre con múltiples finalidades como pueden ser:

- a). Transporte, desde simples botes hasta barcos, muelles, dárcenas, plataformas para aterrizaje y despegue de helicópteros y puentes flotantes simples o cortos, así como también en el renglón relativo a la reparación de caminos.
- b). Almacenamiento de alimentos, en depósitos de diseño rápido y construcciones para guardar provisiones de emergencia.

- c). **Albergues de emergencia, como por ejemplo los de techo -
semicircular o curvo que son fáciles de erigir y muy eficaces.**
- d). **Servicios de sanidad pública, tales como letrinas y clínicas,
construidas con techos de ferrocemento y paredes tipo estuco
co de la misma malla metálica y mortero.**

4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS.

4.1. OBJETIVOS.

Se tuvo como objetivo el conseguir una estructura de ferro cemento que fuera económicamente ventajosa comparada con las estructuras tradicionales: concreto, metálicas, y a base de armaduras metálicas y lámina de asbesto-cemento utilizadas actualmente.

Asimismo se estudiaron las condiciones de trabajo en el medio rural, suponiendo carencia de recursos en cuanto a equipo y herramienta, simulando condiciones de trabajo rústicas.

Como primera etapa se realizó un estudio a fin de determinar las secciones tanto transversal como longitudinal para una cubierta de 15 m. de claro. Seleccionando las indicadas en la Fig. 3.

Como segunda fase se construyó un elemento tipo y en su tercera etapa se determinó el comportamiento de este elemento ante distintas acciones de diseño.

4.2. FORMA DE LA ESTRUCTURA.

Para determinar la forma más adecuada de la estructura, se buscó aquella en la que los elementos estuvieran sometidos a esfuerzos directos y en la que las funciones de soporte y de cubierta quedaran reunidos en un mismo elemento, llegando así a seleccionar la forma de arco parabólico atirantado, en forma de lámina ondulada y con articulaciones, en los apoyos, el cual sa-

-tisface las condiciones descritas, con la ventaja de no incluir momentos flexionantes, ni empujes horizontales a los apoyos. En las condiciones de carga permanente, la cual es prácticamente uniforme, la línea de presiones coincide con la directriz del arco, el cual trabaja únicamente a compresión axial, y solo bajo acción de las cargas accidentales, aparecerán momentos flexionantes, los - cuales son de escasa magnitud.

En el estudio se consideró una variante a la solución anterior, que consistió en la introducción de una articulación en la - clave Foto 4 y Fig. 4. Esta variante simplifica la fabricación y el montaje de la pieza, a cambio del trabajo adicional, que represen ta la construcción de la articulación central, la cual ofrece una - alternativa para adaptarse a las condiciones rurales de trabajo.

Se escogió un espesor mínimo proporcional a la sección del arco, el cual se consideró compatible con las condiciones rura-- les de trabajo en que deben construirse las piezas.

En cuanto al refuerzo utilizado en sentido longitudinal, és te fué de 0.003 de la sección y el refuerzo transversal se calculó como el 0.0025 del área de mortero, sin considerar el metal - desplegado que no trabaja en esa dirección.

4.3 CONSTRUCCION DE LA SECCION DE CUBIERTA DE 15.00 M. DE CLARO.

Para la construcción de esta sección se utilizó una obra fal sa con andamios tubulares, y posteriormente, se construyó la - cimbra constituida por dos arcos y piezas transversales de made

-ra y forro de "Muro Malla" con mortero de cemento-arena. Dicho mortero se aplica en forma manual, y el perfil necesario, se consiguió mediante una tarraja habilitada con carretillas, según se indica en figura 5.

Una vez conseguida la superficie de terminación, se aplicó a ésta un desmoldante.

Colocación del acero de refuerzo.

La colocación del acero de refuerzo no constituye problema al ubicarlo en las vigas de apoyo. Para su colocación en el cuerpo del arco, se colocaron primero taquetes y tornillos en el mortero de la cimbra, a los cuales, se fijó con alambres la capa inferior del metal desplegado, apoyado sobre separadores hechos de recortes de malla, para asegurar el recubrimiento necesario. Posteriormente, sobre esta primera capa de metal desplegado se colocaron los refuerzos transversales y encima de éstos, los alambres longitudinales sobre los que se colocó la capa superior de metal desplegado, utilizándose el denominado E-10-22 que corresponde al calibre 26 y con un peso de 1000 gr./m^2 (fotos 5 a la 11).

Se considera conveniente para el colado de los elementos de 15.00 m que no llevan articulación central, construir el molde deslizante de fibra de vidrio, con objeto de utilizarlo en repetidas ocasiones, asimismo, se recomienda colocar argollas en los extremos de las vigas de apoyo para fijar tensores provisionales durante las maniobras de retiro del molde y colocación definitiva

de la pieza y después instalar los tensores definitivos.

El avance en obra se recomienda realizarlo en sentido longitudinal en tramos de 5.00 m, llevando siempre el molde adelante del último par de columnas coladas y las placas por fuera del edificio y 1.25 m atrás del eje de dicha parte de columnas. Para construir los tramos de 7.5 m de la alternativa con articulación central, puede utilizarse una sola mesa de colado para todos los elementos mediante un muro perimetral de 1.00 m de altura máxima aproximada, rellenándolo de tierra o arena, y configurándolo con un firme de mortero. En este caso los elementos se podrán retirar del muro y transportar a la bodega mediante elevadores rodantes y las plumas se irán desplazando dentro de la bodega según ejes longitudinales en los cuartos del claro. Antes del retiro de las plumas los tensores se colocarán después de cerrar la articulación central. Para ambos casos se podrá utilizar para los tensores cable de preesfuerzo de 3/8" con un templador de $\varnothing 7/8"$ en un extremo y argollas de ancla ahogadas en las vigas de apoyo.

Colado de la pieza.

Para colar esta pieza de ferrocemento se utilizó el siguiente proporcionamiento:

Cemento tipo III	1 kg.
Arena Santa Fe	0.875
Arena Ajusco	0.875
Agua	0.530

Se obtuvo un revenimiento de 3 cm y una resistencia a compresión, a los 28 días de 317 kg/cm^2 en cilindros, y de 390 - - - kg/cm^2 en cubos.

En las vigas de apoyo el concreto utilizado fue el siguiente:

Cemento	361 kg
Grava	908 kg
Arena	720 kg
Agua	200 kg

Logrando un revenimiento de 10 cm y su resistencia a la compresión a los 28 días fué de 295 kg/cm^2 .

Se comenzó el colado por uno de los apoyos del arco para terminar en el otro. Se coló manualmente utilizando vibrador de inmersión para las vigas de apoyo, y para el cuerpo del arco se utilizó un vibrador de superficie o placa.

En el colado de este elemento se utilizó el siguiente personal: 3 Oficiales y 5 peones, los cuales realizaron el trabajo en - 12 horas. Se efectuó el curado de la estructura utilizando un producto comercial de uso normal.

Para la colocación de los tensores se utilizó cable de pres fuerzo de 9,53 mm (3/8"), asegurando el cable en un extremo a una argolla roscada y en el opuesto a un templador de $\varnothing 7/8"$, - colados éstos en los extremos de barras de acero estructural de - $\varnothing 1"$ con cuerdas en ambos extremos ancladas en las vigas de apo y mediante placas y tuercas en las caras externas de éstas.

Montaje de la Sección.

Se coló la pieza orientándola en la dirección en que había de ensayarse a aproximadamente 5.00 m de diferencia del eje de los apoyos fabricados para este fin. Mediante una pluma en cada extremo, se levantó la sección de cubierta para colocarla en sus apoyos de prueba. (foto 12). En esta operación participaron - - seis trabajadores durante diez horas para dejar la sección en su posición definitiva.

Preparación del Arco para las pruebas.

Los muros de apoyo de la cubierta de ferrocemento, se construyeron de mampostería de tabique con zapata, castillos y trabe superior de concreto reforzado, ahogando en ésta las anclas necesarias para recibir la pieza. A fin de evitar movimientos de los muretes, se contraventaron a la losa de piso con dos tirantes de cable de acero de $\varnothing 3/8"$ en cada extremo. Se realizó una inspección minuciosa de las imperfecciones de colado del lecho bajo del arco, con objeto de resanar esta superficie se utilizó un aditivo - comercial mejorador de la adherencia y estabilizador de volumen, a fin de dejar una superficie uniforme lista para realizar las pruebas de carga y dinámicas.

4.3.1 PRUEBA DINAMICA.

Esta prueba se realizó con el objeto de encontrar el período promedio asociado al modo de vibración fundamental, mediante una fuerza vertical en el centro del claro. Para detectar el -

período asociado al segundo modo, se aplicó una fuerza vertical a la cuarta parte del claro de la estructura en estudio. Se registraron las vibraciones verticales en tres puntos, se analizaron los movimientos horizontales en dirección del eje longitudinal de la estructura, así como en la dirección transversal a dicho eje.

Estas pruebas consistieron, en general en registrar simultáneamente las aceleraciones inducidas al liberar una fuerza vertical aplicada de magnitud conocida en forma súbita. La posición de esta fuerza se fijó de acuerdo con el período deseado. Teniendo fijos los acelerómetros o captadores de movimientos a la estructura, la fuerza se liberó varias veces con objeto de promediar los períodos de las ondas deseadas. En la Tabla 2 se indica la posición de la fuerza de excitación y de los acelerómetros, así como los resultados de estas pruebas.

Para estas pruebas los acelerómetros se instalaron en tres puntos de la estructura, por parejas, con sus ejes sensibles -- orientados en dirección vertical (V), y horizontal en el sentido -- del eje de la pieza (H_L). En la serie II, los registros se realizaron en dos puntos de la estructura, donde además de estas componentes, los movimientos horizontales transversales al eje de la estructura (H_T), fueron determinados.

Como equipo de registro se utilizaron seis acelerómetros -- inerciales DONNER, donde cada uno transmitió su señal a un sistema de seis amplificadores. Cada canal amplificador tuvo su propio control de ganancia, lo que permite ajustar las señales a ni-

-veles apropiados. Mediante circuitos de calibración se pueden obtener las constantes instrumentales, y por lo tanto, determinar la magnitud de las aceleraciones.

Interpretación de resultados.

Mediante el análisis de las Series I, II, III y VI se estableció, que el período fundamental promedio: en dirección vertical fue de 0.17 seg. De los resultados obtenidos en las Series IV, V, y VII revelaron un período promedio de 0.097 seg que pueden asociarse al segundo modo de vibración vertical, de acuerdo con el defasamiento observado en los registros de campo y la posición de la fuerza aplicada. Horizontalmente la estructura se movió como un cuerpo rígido, ya que las vibraciones observadas estuvieron en fase. En dirección transversal (H_L), el período fue del orden de 0.05 seg. La máxima aceleración vertical fue del orden de 68 cm/seg determinada en el centro del claro.

En dirección horizontal (H_L) la máxima aceleración registrada fue de 43 cm/seg², foto 17.

4.3.2. PRUEBAS DE CARGA VERTICAL.

Para estas pruebas se instalaron reglas por el lecho inferior de la cubierta, en secciones a 4.00 m de los apoyos, y en la sección central, a fin de determinar los desplazamientos verticales que presenta el arco bajo las diferentes condiciones de carga. Estas reglas se suspendieron de un hilo de nylon y mantenidas en posición vertical mediante pesos constantes, fotos 13 a la 16.

Los desplazamientos horizontales se midieron mediante dos micrómetros de 0.01 mm colocados en cada extremo del arco.

Con el objeto de comprobar y poder corregir las lecturas, se fijaron cuatro bancos localizados en puntos alejados de la pieza de prueba. Las cargas producidas en los tensores se midieron mediante deformímetros eléctricos (strain-gages), colocados en cada una de las barras de anclaje de los mismos. La carga vertical se aplicó mediante sacos de arena de 25.00 kg cada uno, apilados en puntos de carga localizados en los tercios del extrados del arco.

La carga máxima se aplicó en siete pasos uniformes, haciéndose lecturas en cada etapa. La carga máxima se mantuvo 24 horas después de haberse cargado. Dicha carga máxima fue de 140 kg/m^2 que equivale a 0.4 de carga muerta $\frac{(100 \text{ kg})}{\text{m}^2}$ + 1.4 la carga viva (70 kg/m^2).

La condición de carga uniforme en todo el claro se consiguió mediante la definición de 18 puntos de carga, situados en los valles del extrados en la sección central, y en las secciones a 1.00 m, 3.00 m, 5.00 m y 6.50 m de los apoyos. En los seis puntos centrales se aplicaron cargas de 175 kg y en los restantes de 350 kg.

La condición de carga en los tercios extremos, se logró mediante la definición de 12 puntos de carga ubicados en los valles extrados del arco en las secciones, a 1.00, 3.00 y 4.50 m de los apoyos. En las secciones a 1.00 m y 3.00 m, estos puntos se

cargaron con 175 kg cada uno.

Con objeto de determinar las posibilidades de manejo, montaje y construcción, se investigó el comportamiento de la pieza, introduciéndole una articulación central para lo cual se hicieron las modificaciones indicadas en la figura 4, fotos 18 y 19. La pieza así modificada se sometió a la carga de 140 kg/m^2 en la mitad del claro completo, para finalmente ensayarlo, con una carga doble de la anterior aplicada en todo el claro. Los resultados se indican en la Tabla No. 3. De esta prueba, se observa que no presenta signos de daños, agrietamientos o deformaciones locales -- por ensayos. Se concluye de estos resultados, que las estructuras de ferrocemento, en estas condiciones son capaces de soportar satisfactoriamente las cargas verticales de diseño, que les corresponde.

4.3.3 COSTO.

Análisis del costo de fabricación de los elementos estudiados correspondientes al Distrito Federal para el año de 1978. (Considerando bodegas de 1,000 Tons. de 15 x 30 m.)

A. - Costos Básicos.

Proporcionamiento en peso según investigación:

1.00	Cemento
0.875	Arena Azul
0.875	Arena Volcánica

$$\frac{0.875 \times 1}{1.45} = 0.578$$

$$\frac{2 \times 0.875}{1.45} = 1.25$$

$$\text{Cemento: } \frac{0.578}{0.578} = 1; \quad \frac{1.21}{0.578} = 2.09$$

1. - Mortero 1:2 (proporcionamiento en el que se consideran los desperdicios):

Cemento:	671 kg
Arena:	1.06 m ³
Agua	0.250 m ³

Costo:	Cemento 671 kg x 0.85 =	\$ 570.35
	Arena: 1.06 kg x \$120.00/m ³	127.20
	Agua: 0.250 m ³ x 2/m ³	0.50
Costo:		<hr/> \$ 698.05/m ³

2.- Concreto f'c = 250 kg/cm²

Cemento: 355 kg x 0.85 = \$ 301.75

Arena: 0.50 x 120 = 60.00

Grava: 1.00 m³ x 120 = 120.00

Mano de Obra:

$$\frac{1 \text{ ofc.} + 6 \text{ peones}}{15 \text{ m}^3} = \frac{1,360.60}{15} = 90.71$$

Revolvedora de un saco:

$$\frac{42.05 \text{ Hr}}{1.5 \text{ m}^3} =$$

$$\text{Costo: } \frac{28.06}{\$ 602.23/\text{m}^3}$$

3.- Plumas de 10.00 m. de altura, peso aproximado 500 kg.

Costo: \$ 15.00

Costo horario con cables, etc. \$400.00/día \$ 50.00/hr.

4.- Equipo de vibrado incluyendo asesoría técnica:

\$ 12.00/hr.

B.- Costo de Materiales.

1.- Metal desplegado E-10-22 \$1.15/m² \$ 18.00/m²

2.- Alambre del No. 8 \$ 12.00/kg.

3.- Molde de fibra de vidrio, completo para 200 usos. \$80,000.00

4.- Alquiler de cimbra y materiales tubulares. \$ 5,000.00

C. - Tipos de Bodegas:

De 500 Ton 15 x 15 m.

De 1, 000 Ton 15 x 30 m.

Primer caso:

4.3.3.1 PRIMER CASO. - CUBIERTA ENTERA CON MOLDE DE FIBRA DE VIDRIO.

a). - Cimbra.

1. - Andamios tubulares.

$$\frac{5,000}{12 \text{ cubiertas}} \quad (\text{Bodegas 1, 000 Ton}) = \$ 416.66$$

2. - Fibra de Vidrio: $\frac{80,000}{200 \text{ usos}} = 400.00$

3. - Tablones de apoyo para columnas -
metálicas.

$$\frac{7 \times 2'' \times 4''}{3.65} \times 2.50 = \frac{38.36 \text{ PT} \times 7.00/\text{PT} \times 1.25}{12 \text{ usos}} = 27.97$$

Mano de Obra:

1. - Montaje de andamios.

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 4 \text{ Aydtes}) \times 1 \text{ día}}{12 \text{ cubiertas}} = \frac{993.40}{12} = 82.78$$

2. - Colocación y armado en cimbra de fibra de
vidrio:

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 4 \text{ Aydtes}) \times 0.5 \text{ día}}{12 \text{ cubiertas}} = \frac{993.40}{12} = 41.41$$

3. - Descimbrado.

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 4 \text{ Aydtas}) \times 0.5 \text{ día}}{12 \text{ cubiertas}} = \$ 41.41$$

Herramienta 5%: 8.28

Costo de Cimbra: \$ 1,018.51/Pza

b). - Construcción de la pieza.

Materiales.

1. - Concreto 250 kg/cm²:
0.720 m³/Pza x 602.23 = \$ 433.61
2. - Mortero:
1.58 m³ x 698.05/m³ = 1,102.91
3. - Metal desplegado:
2 x 52.41 x 1.15 x 18/m² = 2,171.01
4. - Alambre del No. 18:
100 kg/Pza. x 12.00/kg = 1,200.00
5. - Acero de Refuerzo:
3/8", 50 kg; 5/8", 20 kg: :
70 kg. x 7.00 = 490.00
6. - Estribos de 1/4"
15 kg. x 7/kg. = 105.00
7. - Templadores Ø 3/4" con placa.
70 kg/Pza x 5.00/kg = 350.00
Tirantes : 15 kg x 9/kg = 135.00
8. - Las anclas para apoyo en los muros se consideran en la estructura de la bodega

Mano de Obra:**a) - Armado de la cubierta con tensores:**

- 1.- Colocación del metal desplegado y
alambre:

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 1 \text{ Peón})}{30 \text{ m}^2} = \frac{259.00 + 175.00}{30} \times 521.44 \times$$

$$2 \text{ capas} = \text{\$ } 1,547.33$$

- 2.- Armado de traveses de apoyo y tensores

$$(1 \text{ Ofc.} + 1 \text{ Peón}) \times 1 \text{ día} = 442.60$$

- 3.- Colado de las traveses de concreto,

$$(1 \text{ Ofc.} + 1 \text{ Peón}) \times 0.5 \text{ día} = 221.30$$

- 4.- Aplicación del mortero y afinado.

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 1 \text{ Aydte})}{10 \text{ m}^2} \times 52.44 = \frac{443.60 \times 52.44}{10} = 2,273.80$$

$$\text{Vibrador: } 31.08/\text{Hr. (8 Hrs)} = 248.64$$

$$\text{Herramienta: } \underline{94.67}$$

$$\text{Costo de fabricación: } \underline{\text{\$ } 11,095.89}$$

C. - Montaje de cubierta entera.

- 2.- Plumas, 2 operarios recibiendo, un
operario dirigiendo:

$$(1 \text{ Ofc.} + 1 \text{ Peón}) \times 0.5 \text{ día} \times 0.5 = \text{\$ } 993.90$$

Plumas:

$$2 \times 50/\text{Hr.} \times 4 \text{ Hrs.} = 400.00$$

Montaje y desmontaje de plumas:

$$\frac{(1 \text{ Ofc.} + 4 \text{ peones})}{2 \text{ cubiertas/día.}} \times 1 \text{ día} = \frac{993.90}{2} = 496.95$$

$$\text{Herramienta: } \underline{14.89}$$

$$\text{Costo de montaje: } \underline{\text{\$ } 1,160.32}$$

Resumen para pieza completa y molde de fibra de vidrio

Cimbra:	\$ 018. 51
Construcción de la pieza	11. 095. 89
Montaje:	<u>1, 160. 32</u>
Total:	\$13, 274. 72/Pza.

$$\text{Por metro cuadrado: } \frac{\$13, 274. 72}{52. 4/m^2} = \underline{\underline{\$ 253. 14/m^2}}$$

4.3.3.2 SEGUNDO CASO- ARCO DE FERROCEMENTO EN DOS PARTES, - COLADO SOBRE EL TERRENO.

1. - Cimbra.

Puede habilitarse sobre muros de tabique perimetrales, y terminado con firme de concreto de 5 cm para apoyo afianzando con mortero de cemento-arena.

Costo de materiales:

Firme: 20 m² x 70/m² = \$ 1, 400. 00
(material y mano de obra)

Muros de tabique: 25 m² x 230/m² = 5, 750. 00
(material y mano de obra)

Mortero: Proporción 1: 4 1. 30 m³ x 350 = 455. 00
(material)

Cimbra de costados: 2. 5 m² x 80/m² = 200. 00
(material y mano de obra)

Mano de obra de relleno, colocación y firme superior, cimbra y detalles:

(Ofc. +4 Aydtes) 2 días = 993. 90 x 2 = 1, 987. 80

Herramienta 2% 29. 76

Costo: \$ 7, 332. 56

Se requerirían 12 cubiertas o bien 24 me
 dias piezas, por lo que se pueden conside
 rar dos juegos de cimbra, los que serían
 rían para 12 cubiertas.

$$\text{Costo de la cimbra} \quad \frac{2 \times 7,332.56}{12 \text{ cubiertas}} = \quad \$ 1,222.09/\text{Pza.}$$

Ahora la fabricación de la pieza resulta prácticamente igual con
 siderando el costo de fabricación:

$$11,095.89 \times 0.15 = \quad \$ 5,597.45$$

Para el montaje se observa que es prácticamente
 igual; ya que se requiere las dos formas de cada
 lado de los muros para realizar el ensamble.

Montaje:

$$0.5 \times 1,160.32 = \quad \$ 580.16$$

R E S U M E N

Cimbra $\$ 1,222.09$

Fabricación: $5,547.95$

Montaje. 580.16

Costo total de media $\$ 6,250.20$

pieza:

$$\text{Costo por metro cuadrado} \quad \frac{6,250.20}{26.22 \text{ m}^2} = \quad \$ 238.38/\text{m}^2$$

CONCLUSIONES.

Los materiales empleados en la construcción de las estructuras de ferrocemento con cemento, arena, agua y como refuerzo mallas y en algunas ocasiones barras de acero de diámetros pequeños.

Para la elaboración del ferrocemento se recomienda la utilización de arena cribada por la malla No. 4, el mortero recomendable debe tener una relación de arena/cemento = 1.75 en peso.- El revenimiento recomendable se puede considerar de 2.5 cm (en cono modificado). Las mallas de refuerzo recomendables son las cuadradas electrosoldadas, las de metal desplegado y las hexagonales (gallinero).

La estimación de los esfuerzos de diseño se puede hacer en función del volumen de refuerzo (V_R) y de la superficie específica (S_L).

El esfuerzo de tensión, considerando el agrietamiento inicial como parámetro representativo de su resistencia, resulta ser proporcional a la superficie específica del refuerzo, determinándose mediante las siguientes expresiones:

Para refuerzo de metal desplegado o malla hexagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm) y un ancho de grieta de 0.02 mm, con superficie específica mayor a 1 cm^{-1} .

$$f_t = 11 + 12 S_L \geq 25 \text{ en kg/cm}^2$$

Para un ancho de grieta entre 0.05 y 0.10 mm utilizando - malla hexagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm) con superficie específica mayor que 0.5 cm^{-1} .

$$f_t = 13.8 + 13.1 S_L \geq 20 \text{ en kg/cm}^2$$

Los esfuerzos de compresión para morteros del orden de - 500 kg/cm^2 (en cubos) se puede determinar en función de la superficie específica y del volumen de refuerzo, mediante las fórmulas siguientes:

Para mallas de metal desplegado de 1,000 gr/m.

$$f_c = 383 - 51.5 V_R + 2 V_R^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2$$

Para mallas de metal desplegado de 600 gr/m

$$f_c = 479.7 - 220.6 S_L + 42 S_L^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2$$

Para mallas hexagonales (gallinero de 14.3 x 19 mm se utilizaron las fórmulas siguientes:

$$f_c = 515 - 417 S_L + 113 S_L^2 \leq 350 \text{ en kg/cm}^2$$

$$f_c = 459 - 317.5 C_R + 75 V_R^2 \leq 350 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos de tensión por flexión determinados al final de la etapa de comportamiento elástico, y que corresponden a una flecha al centro del claro de 0.2 cm, para un claro de 60 cm, se pueden calcular con las siguientes expresiones:

$$f_{f0.2} = 36.9 + 12.1 S_L \quad \text{en kg/cm}^2$$

$$f_{f0.2} = 43.7 + 6 V_R \quad \text{en kg/cm}^2$$

Para el módulo de elasticidad, para morteros con resistencia superior a 400 kg/cm^2 (en cubos) y superficie específica superior a 2 cm^{-1} , pueden utilizarse los siguientes valores:

$$E \text{ compresión} = 200,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E \text{ tensión} = 50,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E \text{ flexión} = 100,000 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia a impacto utilizando las diversas mallas propuestas, alcanza sus valores óptimos con las cantidades de refuerzo que se indican a continuación: metal desplegado $S_L = 2.7 \text{ cm}^{-1}$; malla hexagonal $S_L = 1 \text{ cm}^{-1}$.

El control de calidad del mortero puede conseguirse mediante la prueba de revenimiento en cono de tamaño reducido. Para la determinación de la resistencia a compresión de los morteros, se pueden utilizar cilindros de $5 \times 10 \text{ cm}$. Es recomendable realizar pruebas a tensión de las mallas que se piensa utilizar, debido a la variación que existe entre las marcas de cada fabricante.

Para el curado del mortero utilizado en la elaboración de estructuras de ferrocemento, se recomienda aplicarle una membrana de curado o un curado húmedo por lo menos durante siete días.

Dentro de las ventajas mas preponderantes para la utiliza
ción del ferrocemento, en comparación con los sistemas tradicionales, se pueden encontrar las siguientes:

- Se utiliza como agregado inerte, arena cribada por la malla No. 4. El concreto utiliza arena y grava.
- El control de la relación agua/cemento se realiza con mayor facilidad en la elaboración del mortero que en la de los concretos normales.
- El empleo de cimbras para acabados especiales, será eventual, dado que pueden utilizarse los accidentes del terreno, los cuales una vez habilitados pueden servir de molde para la elaboración de piezas de ferrocemento.
- La colocación del refuerzo es muy sencilla, debiendo cuidar únicamente la separación entre las diversas capas de refuerzo utilizado.
- La aplicación del mortero para las superficies de ferrocemento se puede realizar en forma manual.
- El curado húmedo de las estructuras de ferrocemento debe realizarse por lo menos durante siete días.
- El transporte de las estructuras de ferrocemento debido a su escaso peso, resulta mas recomendable que el de elementos prefabricados tradicionales, ya que por su elevado peso estos últimos, incrementan el costo de transportación.

- Por lo anterior, la colocación de los elementos fabricados de ferrocemento será más fácil que la de los elementos de concreto, colados en el lugar o prefabricados.
- Los elementos de liga, tapajuntas, etc. son de fácil aplicación y pueden ser elaborados al pie de la obra, no requiriendo mano de obra especializada.
- La reparación de estructuras de ferrocemento es de gran facilidad, dado que no requieren de mano de obra especializada logrando superficies terminadas idénticas a la original.

Dentro de las aplicaciones potenciales de este sistema de construcción, se puede mencionar la fabricación de bodegas de uso tradicional, la elaboración de silos los cuales resultan herméticos, evitando la procreación de microorganismos aerobios, con el beneficio de no tener pérdidas de grano, la construcción de cubos o tanques de fermentación de salsa de pescado, soya, cerveza, vino, leche, agua potable, etc., así como para la construcción de desecadoras para la pulverización de leche, cocinas y hornos a gas, etc.

Dentro de las aplicaciones actuales del ferrocemento figuran la construcción de techumbres de bajo costo, moldeándolos en forma de cúpulas, bóvedas, superficies planas, etc.

La construcción de cubiertas para bodegas constituye una herramienta de incalculable valor, ya que permite cubrir grandes claros en zonas de escasos recursos y poco accesibles.

Las pruebas que se efectuaron fueron las siguientes: pruebas dinámicas por medio de las cuales se determinó el período promedio asociado al modo de vibración fundamental, mediante una fuerza vertical en el centro del claro, asimismo se determinó el segundo modo de vibración aplicando una fuerza vertical a la cuarta parte del claro de la estructura, registrando las vibraciones verticales en tres puntos, utilizando para el sistema de medición, acelerómetros inerciales DONNER y micrómetros de 0.01 mm. Los resultados de estas pruebas fueron satisfactorios, determinando el período fundamental promedio en dirección vertical que resultó ser de 0.17 seg. para el primer modo de vibración, y para el segundo modo, resultó ser de 0.097 seg. en sentido horizontal la estructura se movió como cuerpo rígido, debido a que las vibraciones estuvieron en fase. En dirección transversal el período fué de 0.05 seg. y su máxima aceleración vertical fue del orden de 68 cm/seg^2 al centro del claro, en dirección horizontal la máxima aceleración fue de 43 cm/seg^2 .

Para las pruebas de carga vertical se colocaron por el lecho inferior de la cubierta reglas en secciones a 4 m de los apoyos, y, en la sección central, con objeto de determinar los desplazamientos verticales; para los desplazamientos horizontales se utilizaron micrómetros de 0.01 mm, ubicados en los extremos del arco. La carga máxima aplicada fue de 140 kg/m^2 que equiva

-le a 0.4 de carga muerta (100 kg/m^2) + 1.4 a la carga viva (70 kg/m^2).

Para determinar el costo de la cubierta se analizaron los costos básicos del cemento, de la arena azul y de la arena mecánica, se analizó también el mortero 1:2 y el concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Se determinaron dos casos para el análisis de la cubierta.

Caso 1. Cubierta entera con molde de fibra de vidrio, cuyo costo resultó ser de $\$ 253.14/\text{m}^2$ (precios de 1978)

Caso 2. Arco de ferrocemento en dos partes, colado sobre el terreno, su costo resultó ser de $\$ 238.38/\text{m}^2$ (precios de 1978).

Costos que resultaron competitivos en alto grado con los de cubiertas ligeras de acero y de concreto.

Resulta ser el ferrocemento un material ideal para la construcción de cubiertas de grandes claros ya que es más económico y de mayor facilidad constructiva que los otros materiales tradicionales como concreto, acero o elementos prefabricados, por la ventaja de no requerir mano de obra especializada. Las zonas con escasos recursos económicos, de transportación y técnicos encontrarán en este material la herramienta ideal para la solución de sus problemas de almacenamiento con grandes claros, ya que encuentran en él las ventajas siguientes:

- Los materiales para su elaboración son de fácil obtención, cemento arena, agua
- No requiere mano de obra especializada, basta con la adecuada dirección de un oficial que conozca su manejo
- No requiere cimbra necesariamente su configuración puede obtenerse en un lomerío habilitado mediante secciones maestras.
- La sección una vez habilitada se le aplica un cementante y un desmoldante para utilizarla en múltiples ocasiones.
- Para su colocación es suficiente con prever la cama de colado cerca del lugar y mediante una pluma se consigue la posición definitiva.
- Su reparación y mantenimiento en caso de daño, es sumamente sencilla, ya que solo requiere malla de acero, cemento, arena y agua.
- Como elemento de acabado decorativo, puede aplicársele cualquier pintura plástica, vinílica epóxica, etc.

RECONOCIMIENTO.

La extinta Secretaría de Obras Públicas, ahora Secretaría de - Asentamientos Humanos y Obras Públicas, patrocinó el presente estudio. Se hace patente el agradecimiento al Arq. Renato N. Chacón Alvarez del Castillo, entonces Director General de Edificios, por haber visto con agrado la elaboración de este estudio.

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó las pruebas y construcción del prototipo, se agradece al Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo, Investigador, su valiosa dirección y comentarios que tuvo a bien realizar para este trabajo.

A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

TABLA 1 - MALLAS ENSAYADAS DE FACIL ADQUISICION Y SUS CARACTERISTICAS.

TIPOS DE MALLAS	C A R A C T E R I S T I C A S		
1 Tela de gallinero exagonal (grande) 26 x 39 mm Ø 0.8 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.5 48.3 3.0 1611.1	mm ² kg mm ² kg/cm ²
2 Tela de gallinero exagonal (chica) 19 x 14.3 mm Ø 0.8 mm	Area del alambre Carga máxima promedio (long) Carga máxima promedio (transv) Area resistente (long) Area resistente (transv) Esfuerzo máximo promedio (long) Esfuerzo máximo promedio (transv)	0.5 114.0 35.0 5.5 3.0 2072.7 1166.7	mm ² kg kg mm ² mm ² kg/cm ² kg/cm ²
3 Malla entrelazada cuadrada (grande) 13 x 13 mm Ø 1.1 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	1.1 256.7 7.9 3241.9	mm ² kg mm ² kg/cm ²
4 Malla entrelazada cuadrada (chica) 6.3 x 6.3 mm Ø 0.7 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.4 114.3 5.0 2286.6	mm ² kg mm ² kg/cm ²
5 Tela tipo plafón romboidal 600 gr/m 10 x 20 mm Ø 0.5 x 1.0 mm	Area del alambre Carga máxima promedio (long) Carga máxima promedio (transv) Area resistente (long) Area resistente (transv) Esfuerzo máximo promedio (long) Esfuerzo máximo promedio (transv)	0.5 91.7 12.5 7.0 2.5 1309.5 500.0	mm ² kg kg mm ² mm ² kg/cm ² kg/cm ²

continúa

(continuación tabla 1)

TIPOS DE MALLAS	C A R A C T E R I S T I C A S	
12 Malla entrelazada cuadrada 4.1 x 4.1 mm Ø 0.6 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente esfuerzo máximo promedio	0.2 mm ² 82.9 kg ² 4.2 mm ² 1954.7 kg/cm ²
13 Malla entrelazada cuadrada 3.8 x 3.8 mm Ø 0.5 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.2 mm ² 76.1 kg ² 4.3 mm ² 1782.7 kg/cm ²
14 Malla entrelazada cuadrada 2.8 x 2.8 mm Ø 0.5 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.3 mm ² 52.9 kg ² 4.7 mm ² 1123.5 kg/cm ²
15 Tela de mosquitero 1.8 x 1.8 mm Ø 0.2 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.03 mm ² 24.1 kg ² 1.1 mm ² 2130.1 kg/cm ²
16 Tela metal desplegado (galvanizado) 10 x 5 mm Ø 0.5 x 2.0 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	1.0 mm ² 70.3 kg ² 22.0 mm ² 774.23 kg/cm ²

Nota. - Las muestras estabán formadas por tres especímenes.

(continuación tabla 1)

TIPOS DE MALLAS	C A R A C T E R I S T I C A S		
6 Tela tipo plafón romboidal 700 gr/m 10 x 21 mm Ø 0.5 x 1.1 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.6 96.7 7.7 1255.4	mm ² kg ² mm ² kg/cm ²
7 Tela tipo plafón romboidal 800 mm 10 x 22 mm Ø 0.5 x 1.2 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.6 117.7 8.4 1400.8	mm ² kg ² mm ² kg/cm ²
8 Tela tipo plafón romboidal 1000 gr/m 10 x 25 mm Ø 0.5 x 1.5 mm	Area del alambre Carga máxima promedio (long) Carga máxima promedio (transv) Area resistente (long) Area resistente (transv) Esfuerzo máximo promedio (long) Esfuerzo máximo promedio (transv)	0.7 123.3 30.0 9.8 3.5 1258.5 857.1	mm ² kg kg ² mm ² mm ² kg/cm ² kg/cm ²
9 Tela de gallinero exagonal (mediana) 22 x 27 mm Ø 0.6 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.3 70.0 2.3 2994.0	mm ² kg ² mm ² kg/cm ²
10 Malla entrelazada cuadrada (mediana) 8 x 8 mm Ø 0.8 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.5 215.0 6.2 3455.9	mm ² kg ² mm ² kg/cm ²
11 Malla entrelazada cuadrada 4.3 x 4.3 mm Ø 0.6 mm	Area del alambre Carga máxima promedio Area resistente Esfuerzo máximo promedio	0.3 93.3 3.9 2484.1	mm ² kg ² mm ² kg/cm ²

continúa

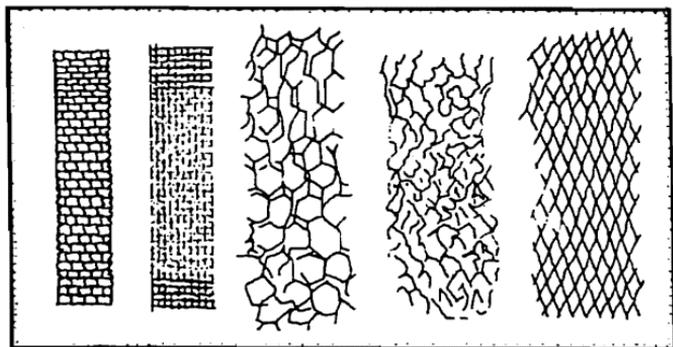
TABLA 2.

PRUEBAS DINAMICAS AL ARCO DE 15 Mts. DE CLARO

Serie	Pruebas	Fuerza aplicada y posición	Periodos (Seg)	Frecuencia (hz)	Modos de vibración	Posición de la fuerza de excitación y de los acelerómetros
I	1 a 4	Vertical en el	en dirección H_L $T = 0.163$ en dirección V $T = 0.162$	en dirección H_L $f = 6.15$ en dirección V $f = 6.16$	dirección vertical 1er. Modo.	
II	5 a 10	Vertical en el	H_L $T = 0.160$ H_V $T = 0.054$ V $T = 0.170$	H_L : $f = 6.25$ H_V : $f = 18.50$ V : $f = 5.90$	dirección vertical 1er. Modo.	
III	11 a 13	Vertical en el	H_L $T = 0.162$ V $T = 0.173$	H_L : $f = 6.15$ V : $f = 5.77$	dirección vertical 1er. Modo.	
IV	14 a 17	vertical en el punto b ($\frac{L}{4}$)	H_L : $T = 0.166$ V $T = 0.109$	H_L : $f = 6.00$ V : $f = 9.15$	dirección vertical 2º. Modo.	
V	18 a 21	Vertical en el punto b ($\frac{L}{4}$)	H_L : $T = 0.172$ V $T = 0.095$	H_L : $f = 5.80$ V : $f = 10.50$	dirección vertical 2º. Modo.	
VI	22 a 27	Vertical en el	H_L : $T = 0.163$ V : $T = 0.177$	H_L : $f = 6.12$ V : $f = 5.65$	dirección vertical 1er. Modo.	
VII	28 a 32	Horizontal en el punto c ($\frac{3L}{4}$)	H_L : $T = 0.167$ V $T = 0.086$	H_L : $f = 6.00$ V : $f = 11.63$	dirección vertical 2º. Modo.	

**TABLA 3. RESULTADO DE LA PRUEBA DE CARGA VERTICAL DEL ARCO
CON ARTICULACION EN EL CENTRO**

	Deformaciones verticales (mm)									Desplazamiento en hor.				Tensiones en los cables (ton)					
	Sección A.			Sección B.			Sección B'			Sección C									
	E	C	W	E	C	W	E	C	W	E	C	W	E	W					
140 kg/m ² en la mitad del claro	Carga máxima	4	3	5	9	9	8	9	9	10	5	6	4	4.5	4.6	2.3	4.2	0.4	-0.3
	A 24 hs de cargado	7	5	6	13	13	11	14	14	13	6	4	7	5.0	5.4	2	5.4	1.45	0.2
	Descarga	5	3	4	5	5	3	5	5	5	-1	1	1	1.0	2.0	-0.1	2.0	2.0	0.6
	A 24 hs de cargado	4	3	3	5	5	3	5	4	5	3	4	4	0.6	1.3	-0.4	1.3	1.5	-0.6
140 kg/m ² en todo el claro	Carga máxima	11	12	11	19	20	20	21	21	23	11	12	12	8.5	8.1	4.5	4.8	0.8	1.1
	A 24 hs de cargado	14	15	9	25	24	24	21	24	24	12	14	14	9.5	7.4	5.0	5.5	0.4	1.05
	Descarga	4	5	0	6	5	6	2	5	6	2	3	6	1.7	0.0	1.3	1.0	0.6	0.2
	A 24 hs de descarga	4	-1	-1	3	3	2	4	3	3	4	4	5	1.1	-0.9	1.5	0.2	-0.9	0.1
280 kg/m ² en la mitad del claro	Carga máxima	9	9	11	20	19	19	21	21	20	12	15	13	8.7	7.4	3.5	4.3	1.9	0.8
	A 24 hs de cargado	8	6	13	20	15	18	21	18	20	12	12	11	8	6.4	3.8	4.3	1.3	1.05
	A 6 días de cargado	6	4	9	21	18	18	22	21	19	12	14	12					1.0	0.8
280 kg/m ² en todo el claro	Carga máxima	19	20	22	42	38	36	42	39	36	21	21	19	16.1	13.1	8.7	8.0	2.0	1.4
	A 24 hs de cargado	21	21	23	46	41	39	46	43	39	23	23	21	16.8	13.6	9.4	8.3	2.15	1.7
	Descarga	2	2	6	9	8	8	9	8	7	3	3	4	10.5	8.3	2.1	2.7	0.1	-0.3
	A 24 hs de cargado	2	0	4	6	5	5	6	5	5	4	3	1	10.03	7.7	1.7	1.7	-0.4	-0.4



MALLAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO
DE LA EFICIENCIA DEL REFUERZO
— PARA FERROCEMENTO —

FACULTAD DE INGENIERIA

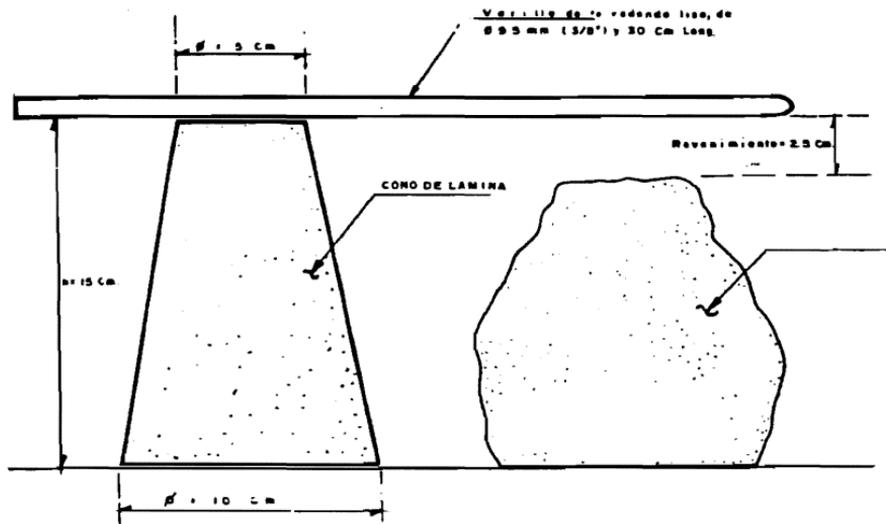
TESIS PROFESIONAL

FERROCEMENTO PROPIEDADES Y
APLICACION A CUBIERTAS DE
GRANDES CLAROS

MIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ

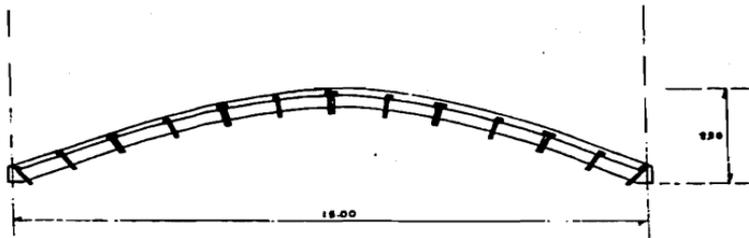
1979

Fig 1

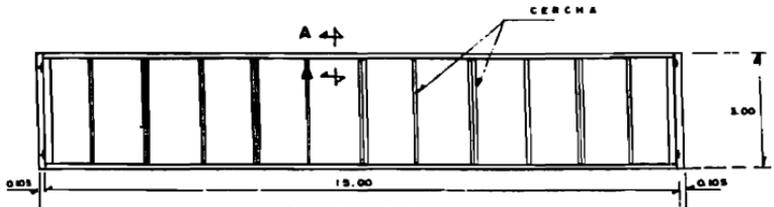


MEDIDAS DEL CONO DE REVENIMIENTO
 — DE TAMAÑO REDUCIDO —

FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FERROCEMENTO PROPIEDADES Y APLICACION A CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS	
MIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ 1979	Fig 2



ELEVACION

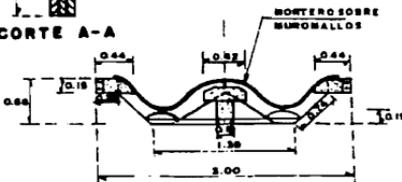


PLANTA

SECCIONES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL
DE UNA CUBIERTA DE FERROCEMENTO DE 15.00MTS.
DE CLARO



CORTE A-A



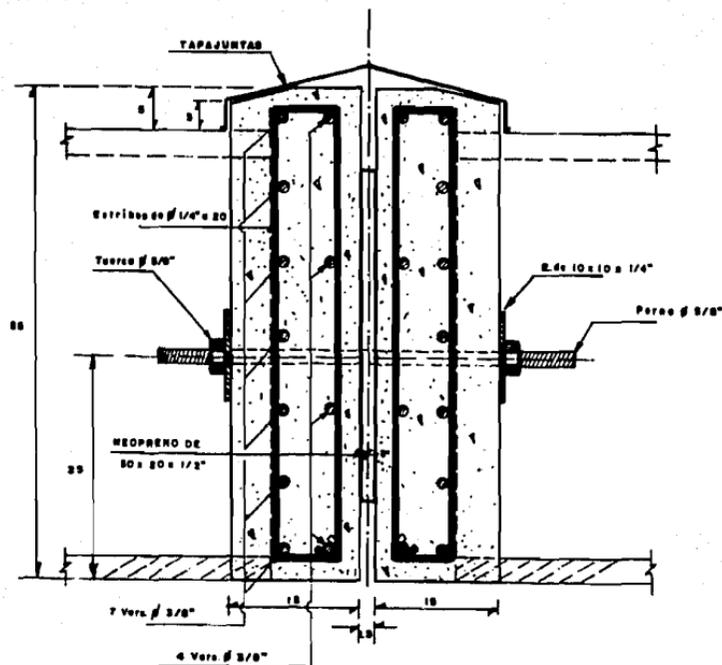
ELEVACION



PLANTA

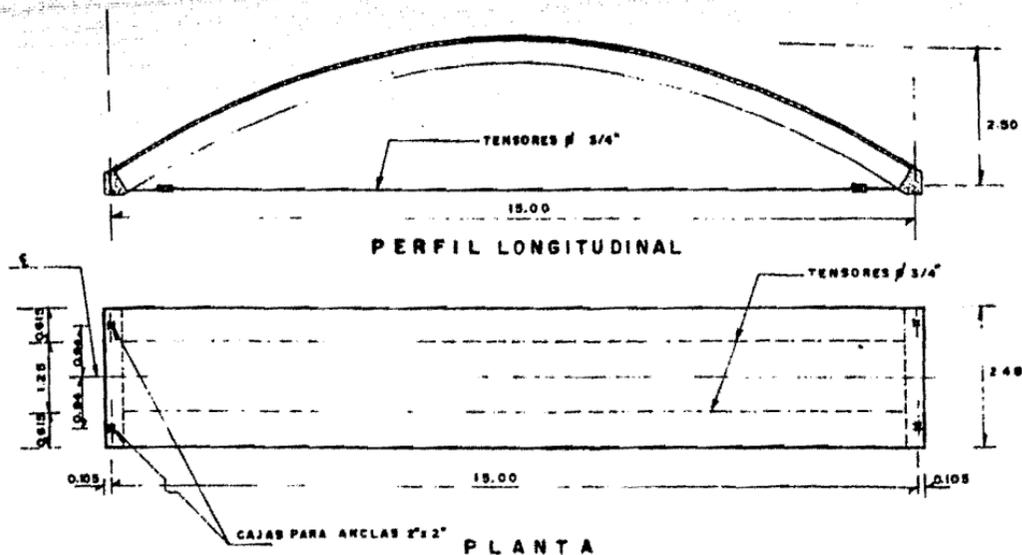
C E R C H A

FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FERROCEMENTO PROPIEDADES Y APLICACION A CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS	
RIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ	1978
	FOLIO 3



ARTICULACION CENTRAL EN EL
 ARCO DE 15.00 METROS DE CLARO
 — SECCION TRANSVERSAL —

FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FERROCEMENTO PROPIEDADES Y APLICACION A CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS	
MIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ 1979	FIG. 4



PIEZA EN FERROCEMENTO DIMENSIONES GENERALES

FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
FERROCEMENTO PROPIEDADES Y APLICACION A CUBIERTAS DE GRANDES CLAROS	
MIGUEL CHAVEZ DOMINGUEZ 1978	Fig. 5



Foto 1 - Fabricación de pequeños botes de ferrocemento.



Foto 2 - Silos de ferrocemento.



Foto 3 - Techumbres de ferrocemento



Foto 4 - Arco de ferrocemento con articulacion
al centro del claro.



foto 5 - Malla de refuerzo utilizada en la cubierta
ta de ferrocemento.



Foto 6 - Vista del refuerzo utilizado para la cubierta de 15 m de claro.



Foto 7 - Vista del refuerzo y espesor de la -
cubierta de 15 m de claro.



Foto 8 - Armado de la trabe de apoyo para la -
cubierta



Foto 9 - Aplicación del mortero con llana metálica.



Foto 10 - Aplicación y consistencia del mortero utilizado.



Foto 11 - Vista general del colado.



Foto 12 - Montaje de la cubierta en los muros de prueba, mediante pluma de carga.



Foto 13 - Prueba de carga vertical.



Foto 14 - Bolsas de arena utilizadas en la prueba de carga vertical.

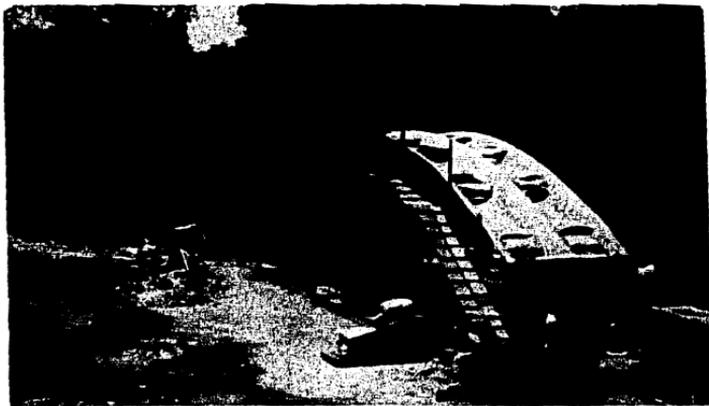


Foto 15 - Cubierta lista para la prueba de carga vertical.



Foto 16 - Descargando la cubierta al terminar la prueba de carga.

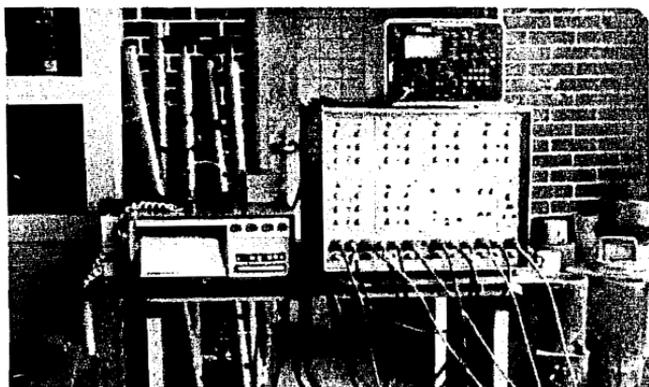


Foto 17 - Equipo de medición utilizado en las pruebas dinámicas.



Foto 18 - Arco de ferrocemento con tensores de sujeción.



Foto 19 - Vista de la articulación al centro del - claro.

REFERENCIAS.

1. **Propiedades básicas del ferrocemento - Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1975).**
2. **"Ferrocement: Applications in Developing Countries" - National Academy of Sciences, Washington (Feb. 1973).**
3. **P. L. Nervi, Bulletin 36 - International Ass. Shell Structures, Madrid (Dic 68) 'Concrete and Structural Form', Structural Engineer (May 1956).**
4. **"Boats from Ferro-Cement, Utilization for ship building and Repair Facilities" - Serie No. 1, Naciones Unidas, New York (1972)**
5. **"Building a Ferro-Cement Yacht", Concrete Construction - - (Abr. 1971).**
6. **G. Jackson, "Future with a Promise for Concrete Boat building", Vol. 1, Concrete Construction (Sep. 1969).**
7. **G. Jackson "Future with a Promise for concrete Boat building" Vol. 2, Concrete Construction (Oct. (1969).**
8. **R. B. L. Smith y S. Boon-Long. "Ferro-Cement Bins for Hermetic Storage of Rice", Research report 12, Asian Institute of Technology, Bangkok (May, 1970).**
9. **Ferrocement boats, Concrete (Sep. 1973). pp 29-32**
10. **P. Logan y S. P. Shah. Moment Capacity and Cracking behavior of ferrocement in flexure, ACI Journal (Dic. 1973) - pp 799-804.**