

126
20

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL FERROCEMENTO APLICADO EN EL
REFORZAMIENTO DE EDIFICIOS**

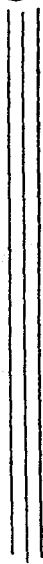
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

DAVID JUAN RODRIGUEZ RUIZ



**TEJIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

TEMARIO

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1. APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN MEXICO Y EL MUNDO.....	6
II. PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO.....	19
1. DEFINICION.....	19
2. MATERIALES.....	22
A) MALLA DE REFUERZO.....	23
B) ACERO DE REFUERZO.....	26
C) MORTERO.....	27
a) CEMENTO.....	27
b) AGREGADOS.....	29
c) AGUA.....	29
3. PROPIEDADES.....	31
A) TRACCION.....	32
B) FLEXION.....	38
C) COMPRESION.....	42
D) IMPACTO Y FATIGA.....	45
E) DUCTILIDAD Y TENACIDAD.....	47
III. PROBLEMATICA DE UN EDIFICIO EN EL DISTRITO FEDERAL.	49
1. ASPECTO TECNICO.....	49
2. ASPECTO SOCIAL.....	53

	PAG.
IV. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DEL REFORZAMIENTO....	57
1. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....	57
A) METODO CONSTRUCTIVO APLICADO EN EL REFORZA- MIENTO DEL EDIFICIO.....	58
a) RETIRO DE MOBILIARIO.....	59
b) APUNTALAMIENTO.....	59
c) RETIRO DE RECUBRIMIENTO.....	60
d) PERFORACION Y RANURA DE PISO.....	60
e) PERFORACION DE MUROS.....	60
f) COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO.....	61
g) APLANADO CON MORTERO.....	61
h) CURADO.....	77
i) RETIRO DE PUNTALES.....	78
j) APLICACION DE RECUBRIMIENTO.....	80
k) LIMPIEZA Y OTROS.....	80
B) OTROS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	83
a) PEQUEÑAS EMBARCACIONES.....	83
b) PREFABRICADOS.....	83
1.- ENCONFRADO TIPO SANDWICH.....	83
2.- POR PLEGADO.....	83
3.- POR ELEVACION.....	84
4.- POR PENSADO.....	84
c) CONSTRUCCION DE CUBIERTAS.....	84
d) CANALES DE RIEGO.....	85
e) CONSTRUCCION DE BARCOS.....	85
V. CONCLUSIONES.....	91
REFERENCIAS.....	93

I N T R O D U C C I O N

Ante la situación adversa que afronta el país y por ende los que vivimos en él, toca al Ingeniero Civil y en particular a cada uno de los que aspiramos a serlo, crear o abrir alternativas de crecimiento en la economía a través del área en la cual fuimos formados.

La industria, siempre se ha visto afectada por los constantes cambios ante la innovación de técnicas y procedimientos. México no ha estado al margen de estos avances y en particular la industria de la construcción, que de una u otra forma es uno de los indicadores más significativos en el desarrollo del país.

En cierta forma, esta situación fue lo que motivó la elaboración de este trabajo acerca del FERROCEMENTO y así proponer otra alternativa de construcción más atractiva que otras por su bajo costo.

El FERROCEMENTO en nuestro país no ha tenido la suficiente difusión o arraigo como lo ha tenido el concreto, siendo que el primero ofrece una serie de ventajas respecto a otros materiales y procesos constructivos como se podrá constatar en el desarrollo del presente trabajo.

Entre los objetivos que se buscan, está el de poner a la disposi

ción de las generaciones actuales y futuras, una información - que en cierta forma se encuentra dispersa y al mismo tiempo una alternativa más que contribuya a su formación y desarrollo personal.

Para poder lograr dicho objetivo, se ha estructurado el tema en forma tal que se puedan cubrir la mayor parte de los aspectos - inherentes al mismo como lo son, desde su incipiente utiliza- - ción en la industria naval ligera para la construcción de botes de remos y de motor. En la alfarería y hornamentación; fabricán- - dose maceteros y asientos, hasta su aplicación en la construc- - ción de casas habitación y últimamente en el reforzamiento de - edificios a raíz del sismo ocurrido en nuestro país en Septiem- - bra de 1985.

I. ANTECEDENTES

Desde el año de 1847, el material compuesto llamado FERROCEMENTO hace su aparición a través de su inventor el Francés JOSEPH - LOUIS LAMBOT construyendo botes de remos, maceteros y otros artículos más, cuya patente obtuvo cinco años después.

Los botes de remos de Lambot se construyeron de 3.66m de largo y 1.22m de ancho con espesores de 2.5 a 3.8 cm reforzados con emparillado y malla de alambre.

Durante cien años, la utilización principal de FERROCEMENTO se limitó a la construcción de embarcaciones pequeñas en diferentes partes del mundo como: Francia, Holanda, Estados Unidos, Italia, China, Hong Kong, Nueva Zelanda y Australia (figura I.1).

No fue sino hasta el año de 1947, el ingeniero-arquitecto PIER - LUIGI NERVI, conocedor de las características mecánicas del FERROCEMENTO, diseña y construye diversas techumbres que se conservan hasta nuestros días como la alberca de la Academia Naval Italiana con una cubierta de 15 m y la sala de exhibición de Turín (figuras I.2 I.3 y I.4).

En los años sesentas, las techumbres a base de FERROCEMENTO se difunden hasta la Unión Soviética, en estructuras con claros libres de hasta 30 metros con un espesor de un centímetro.



Fig. I.1 Barco de FERROCEMENTO en Hong Kong.

Fig. I.2. Piscina de la
Academia naval de Lior-
na.

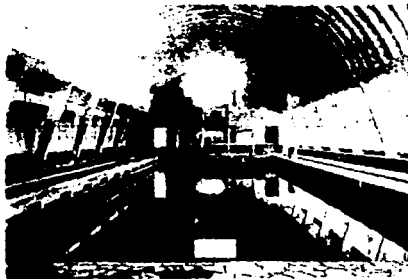


Fig.I.3. Hall del sa-
lón de exposiciones de
Turín.

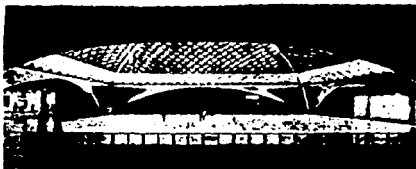
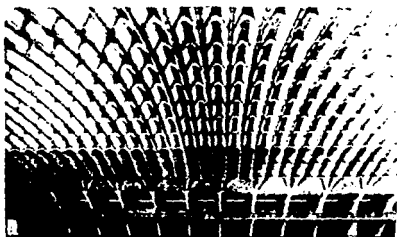


Fig.I.4. Hall del salón
de exposiciones de Turín.



En los años setentas, en los Estados Unidos se construye un barco con FERROCEMENTO de 75m de largo y 23m de ancho.

Al mismo tiempo en Filipinas se desarrolla un sistema habitacional modular de bajo costo utilizando FERROCEMENTO. Más tarde en 1977 en México se construyen en obra y prefabricados domos de FERROCEMENTO para casas habitación de autoconstrucción. En Alemania NAAMAN Y SHAH, diseñan láminas corrugadas de FERROCEMENTO similares a las de asbesto-cemento pero con un costo inferior hasta de un 25%.

En la UNAM se han desarrollado otros tipos de techumbres como lo son las bóvedas cilíndricas, placas plegadas, secciones de perfil variable, secciones en Y y del tipo emparedado (figuras I.5, I.6, I.7, I.8 y I.9). En la SARH se desarrolló una técnica a base de FERROCEMENTO para el revestimiento de canales de riego (figura I.10). Por último, en 1988 el reforzamiento de edificios en México dañados por los sismos ocurridos en el año de 1985 (figura I.11).

1. APLICACIONES DEL FERROCEMENTO EN MEXICO Y EN EL MUNDO

Aun cuando la utilización del FERROCEMENTO en nuestro país no ha tenido el auge como en otras partes del mundo no obstante la gran cantidad de aplicaciones que se le pueden dar, a nivel de investigación y a través del IMCYC se ha recopilado cierta información que desafortunadamente no ha tenido la difusión suficiente, de ahí las pocas pero significativas obras realizadas -

con dicho material. A continuación se relacionan las obras que se han realizado en nuestro país.

L O C A L I D A D	ELEMENTO CONSTRUIDO.
Chiapa de Corzo, Chiapas.	Fosas sépticas y Depósitos de agua.
Ixmiqulpan, Hidalgo.	Revestimiento de canales de riego.
UNAM, D.F.	Arco de 15m de claro (figura I.12).
Contreras, D.F.	Cúpulas esféricas para casas habitación.
Distrito Federal.	Centro Comercial (figura I.13 y I.14).
Iztapalapa, D.F.	Bodega (figuras I.15 y I.16).
Villahermosa, Tabasco.	Unidad Habitacional (figura I.17).
Querétaro, Qro.	Restaurant.
Gómez Palacio, Durango.	Planta de refrigeración.
Distrito Federal.	Reforzamiento de edificios.

El FERROCEMENTO ha tenido una gran aceptación en su país de origen, en algunos países de Europa, gran parte de los países Asiáticos así como en algunos países desarrollados como: Japón, Alemania, Rusia, Inglaterra, Estados Unidos y Canadá.

Fig.I.5 Bóveda cilíndrica.

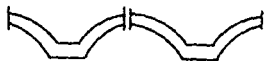


Fig.I.6. Placas plegadas.



Fig.I.7. Sección de peralte variable.

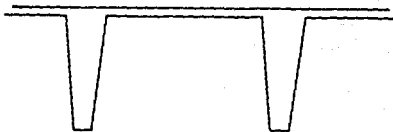


Fig.I.8. Sección en y.

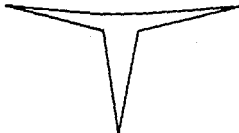
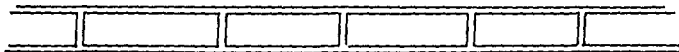


Fig.I.9. Losa tipo emparedado.



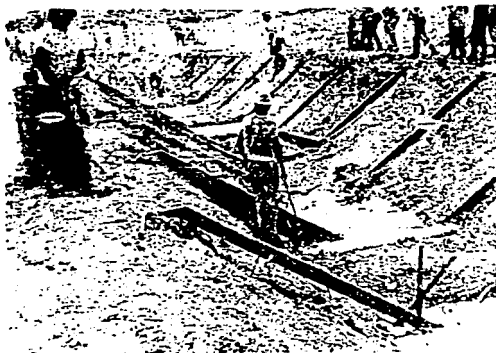


Fig.I.10. Afine de taludes para ser revestido con FERROCEMENTO.

Fig.I.11. Reforzamiento parcial del edificio con FERROCEMENTO.



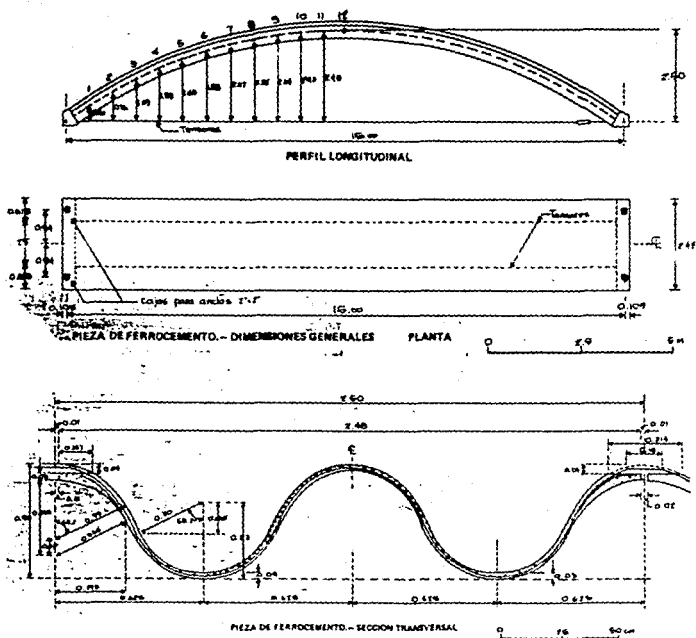


Fig.I.12 Arco de FERROCEMENTO construido en la UNAM.



Fig. I.13 Centro comercial.

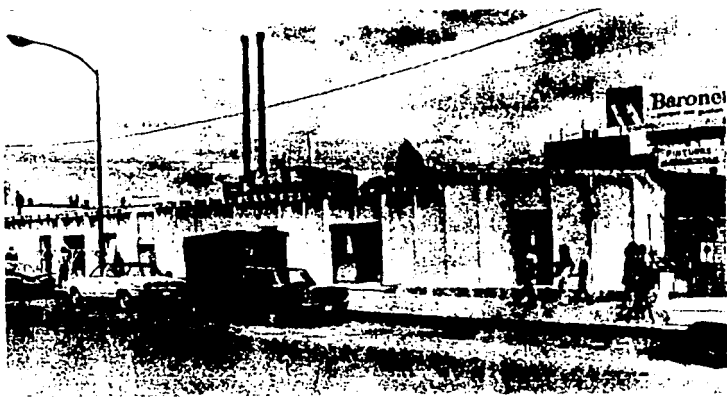


Fig. I.14 Vista general del centro comercial.



Fig. I.15. Construcción de bodega.

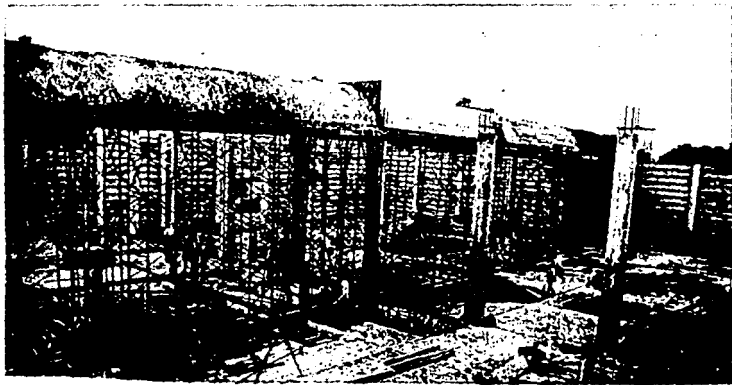


Fig. I.16 Techumbre de bodega a base de FERROCEMENTO.



Fig. I.17 Casa tipo en la unidad habitacional construida en Villahermosa, Tabasco.

En Francia, India y los países tercermundistas de Asia, el FERROCEMENTO ha tenido la oportunidad de demostrar la gran variedad de formas y usos que puede adoptar, desde los pequeños barcos hasta las grandes techumbres en bodegas, fábricas, albercas, - teatros, silos, tanques de agua, etc. A continuación se enlistan las diferentes obras y estructuras que se han construido en el mundo.

P A I S.	ELEMENTO CONSTRUIDO.
Francia.	Barcos pequeños, cubiertas, páneles y casas habitación (figuras I.18 y I.19).
Holanda.	Barcos pequeños.
Italia.	Almacenes, cubiertas, fábricas y bodegas.
Alemania Federal.	Yates.
U.R.S.S.	Cubiertas, puentes (figura I.20), naves industriales y auditorios.
Taiwan.	Cajones flotantes.
India.	Silos (figura I.21), depósitos de agua casas habitación y tanques para biogas.
Tailandia.	Tanques para almacenamiento de agua y Silos.
Nueva Zelanda.	Silos, embarcaciones y tanques.
Inglaterra.	Embarcaciones.
Australia.	Embarcaciones.
Canadá.	Embarcaciones.
Estados Unidos.	Embarcaciones.
China.	Embarcaciones.

Japón.	Embarcaciones.
Cuba.	Embarcaciones.
Ceylan.	Embarcaciones.
Uganda.	Embarcaciones.
Vietnam.	Embarcaciones.
Egipto.	Embarcaciones.
Brasil.	Embarcaciones.
Filipinas.	Casas-habitación.
Srilanka.	Láminas corrugadas.
Argentina.	Silos.
Chipre.	Silos.

Después de ver los diferentes usos que se le han dado al FERRO CEMENTO se puede concluir que la industria naviera ha resultado ser la más beneficiada ya que en la mayoría de los países - en donde se ha utilizado este material a excepción de México - se han construido barcos pequeños, barcazas, yates, veleros e incluso barcos de carga hasta de 100 toneladas de capacidad.



Fig.I.18. Casa-habitación terminada de tipo interés social.



Fig. I.19 Casa-habitación construida con FERROCEMENTO del tipo particular.

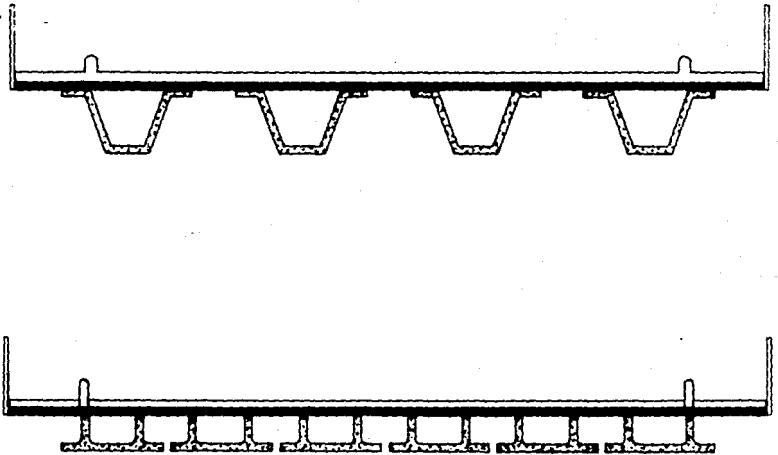


Fig.1.20 Secciones transversales de puentes de FERROCE-
MENTO en la URSS.

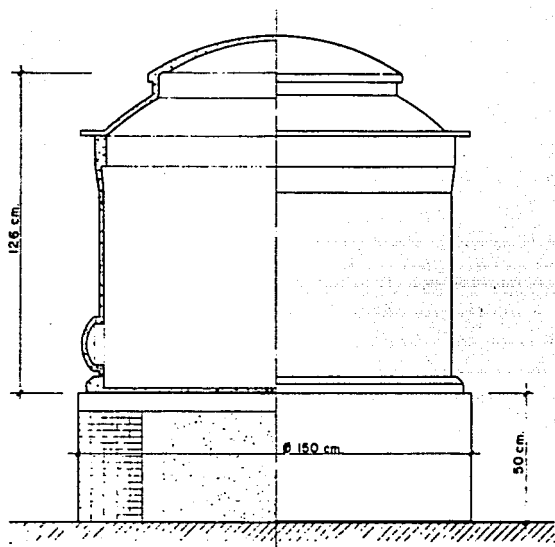


Fig. I.21. Silos para almacenar granos en la India.

II. PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO

Antes de iniciar con la descripción de las propiedades del FERROCEMENTO es conveniente dar o proponer la definición de éste ya que hasta ahora sólo se ha mencionado sin explicar propiamente lo que es.

1. DEFINICION

Dada la gran dispersión de información, los usos que tienen el FERROCEMENTO y de su aplicación en forma muy particular en cada país y por cada usuario; no ha sido posible llegar a una definición única por lo que a continuación se exponen las diferentes versiones que se han dado.

JOSEPH LOUIS LAMBOT, investigador francés quien se dedicó a la elaboración de productos ornamentales y construcción de pequeños barcos, fué quien utilizó por primera vez este material definiéndolo como un producto nuevo que puede reemplazar a la madera, la cual está sujeta a daños por el agua y la humedad, siendo la base de este nuevo material una malla metálica de alambre o de varillas interconectadas para dar un emparrillado flexible, teniendo además la propiedad de ser moldeable de acuerdo a las necesidades por resolver, complementado con cemento hidráulico, una brea bituminosa o una mezcla para rellenar juntas.

El comité 549 del ACI define al FERROCEMENTO como un tipo

de construcción de concreto armado de pared delgada, donde usualmente un cemento hidráulico es reforzado con malla continua y de diámetro de alambre relativamente pequeño. Las mallas pueden ser de material metálico o de cualquier otro material que resulte adecuado.

La American Bureau of Shipping da su definición de la siguiente forma: Una lámina delgada fuertemente armada en la cual la armadura de acero esté muy distribuida en el concreto, de tal forma que el material bajo tensión se comporta aproximadamente como homogéneo.

Los Soviéticos a través de Khaidukov dicen que las Estructuras de FERROCEMENTO son aquellas de concreto armado de pared delgada (15-25mm de espesor) fabricadas con un mortero de gran densidad con arena de grano fino (áridos hasta de 5mm) reforzadas con uno de los siguientes tipos de armadura.

- Malla de alambre soldado o entretejido distribuida uniformemente sobre la sección del elemento.
- Mallas de alambre soldado cubriendo una armadura interna más rígida constituida por barras de pequeño diámetro del tipo de las empleadas en concreto armado tradicional.

En México, se ha definido según el investigador que en su momento se ha dedicado al estudio de este material. Así por ejem

pló nos encontramos con las siguientes definiciones:

Es un material compuesto por una matriz de mortero realizada con cemento hidráulico y una armadura formada por mallas de diámetros pequeños y complementadas o no por redondos de pequeño diámetro. Debiendo ser siempre la estructura de pequeño espesor.

Son capas de mallas dentro de un mortero de cemento Portland, que al trabajar en conjunto, adquieren propiedades físicas y mecánicas que lo hacen atractivo tanto para la construcción de pequeños silos y cisternas como para la construcción de grandes barcos y cubiertas de claros importantes.

Es un material constituido básicamente por varias capas de malla de alambre ahogadas en un mortero de cemento Portland, cuya superficie específica varía entre 0.2 cm y 0.3 cm, definiéndose ésta como el área de contacto del refuerzo entre el volumen de la pieza considerada.

Como se pudo apreciar, las definiciones no hacen sino destacar uno u otro aspecto del FERROCEMENTO de acuerdo a la utilización que le ha dado cada uno de los autores. Sin embargo la mayoría coincide en ciertas características básicas.

Tratando de interpretar todas las definiciones anteriores y agruparlas en una sola y complementada con la experiencia que

se ha tenido, podemos decir que el FERROCEMENTO es un material compuesto con propiedades y características, físicas y mecánicas suficientes para sustituir a otros materiales en cuanto a trabajabilidad y bajo costo (a pesar de que este trabajo no contempla un análisis de costos, éste es una razón de peso para su utilización). Formado con un mortero de alto contenido de cemento Portland, una o varias capas de malla de diámetros pequeños complementados o no con un armazón de varilla lisa o corrugada. Debiendo ser el espesor del elemento por construirse de 10 hasta 40 mm como máximo para que éste no pierda funcionalidad, de lo contrario podría caerse en el caso del concreto armado.

2. MATERIALES

Actualmente en el mercado existe una gran cantidad de materiales (mallas) con los cuales el ingeniero puede dar rienda suelta a su inventiva. De ahí la múltiple gama de usos que se le puede dar al FERROCEMENTO.

Para comprender un poco más acerca del FERROCEMENTO, se analizarán cada uno de sus componentes (malla de refuerzo, acero de refuerzo y mortero) por separado.

A) MALLA DE REFUERZO

Casi en cualquier localidad del país podemos adquirir cualquier tipo de malla. La malla debe ser de alambres delgados entretejidos o soldados de tal suerte que siendo flexible se pueda doblar en los cambios de dirección que se requieran ya que la función inicial de la malla de alambre y las varillas es de dar forma y poder sostener al mortero recién aplicado. Entre las mallas que se pueden conseguir en el mercado están:

Malla exagonal o de gallinero. Este tipo de malla viene en rollos de 50 y 100 metros y en varios anchos lo que da gran facilidad al usuario de elegir la mejor opción con un mínimo de desperdicio (tabla II.1 y figura II.1).

Malla de alambre soldado. Esta malla se fabrica con alambre calibre 18 y 19 con resistencia a la tensión baja, media y alta, -- siendo su particularidad de ser rígido. La desventaja que puede presentar esta malla es que puede haber discontinuidad por una mala aplicación de la soldadura en su intersección, provocando fallas en el elemento que se construya.

Malla de alambre entretejida. Esta malla, similar a la anterior, presenta la ventaja de que en un momento dado puede rectificarse la separación de los alambres de acuerdo a las necesidades - (tabla II.1).

M A L L A	ALAMBRE		CARGA MAXIMA		ESFUERZO MAXIMO	
	ϕ mm	Arqa mm ²	Long. kg.	Transv. kg.	Long. ² kg/cm	Transv. kg/cm ²
Tela para gallinero exagonal. (chica)	0.8	0.5	114	35	2073	1167
Tela para gallinero exagonal. (mediana)	0.6	0.3	166	70	2994	2310
Malla entrelazada cuadrada. (chica)	0.7	0.4	114	.-	2287	.-
Malla entrelazada cuadrada. (mediana)	0.8	0.5	215	.-	3456	.-
Tela tipo plafón rom boidal 600g/m.	0.5	0.5	92	12	1310	500
Tela tipo plafón rom boidal 1000g/m.	0.5	0.7	123	30	1258	857

TABLA II.1. Características de las diferentes mallas.

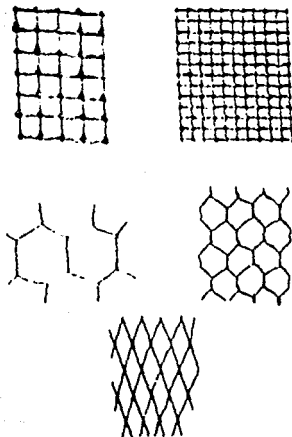


FIG. II.1. Diferentes tipos de mallas existentes en el mercado.

Malla de metal desplegado. Esta malla con aberturas de tipo -
rómico comúnmente utilizada para trabajos en plafones de yeso,
es de bajo peso y de baja resistencia. La ventaja que tiene -
respecto a las otras mallas es su relación costo-resistencia. -
La desventaja que presenta, es que con frecuencia tiende a abrir
se debido al proceso de su fabricación (tabla II.1 y Figura --
II.1.).

B) ACERO DE REFUERZO

Acero corrugado o Liso. Este acero se utiliza en la mayoría de_
las veces para hacer el armazón de la estructura sobre la cual_
se colocarán las mallas. Este armazón se coloca invariablemente
en forma uniforme y simétrica el cual puede tener una separación
máxima hasta de 50cm. Esta dimensión es en función del elemento
que se este construyendo.

Las varillas son de las que normalmente se utilizan en cual- -
quier obra donde se esté empleando acero de refuerzo, el cual de
be tener un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Las cuales tendrán un diámetro entre 0.42 y 0.95cm.

El alambre que se utilice para sujetar las varillas entre sí, -
la malla o mallas, las varillas y los mismos traslapes de las -
mallas será del tipo recocado calibre n^o.18.

C) MORTERO

Las propiedades del mortero están dadas por el tipo y calidad de los materiales que lo constituyen a saber; Cemento, Agregados y Agua.

a) CEMENTO.

Es un material aglutinante que posee adherencia y cohesión capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta. Existen diferentes tipos de cemento, pero el más común es el cemento Portland normal o tipo I. A continuación se describen brevemente cada uno de los cementos existentes en nuestro país.

Portland Tipo I.

Es el cemento más utilizado en condiciones normales y que no es posible utilizar en condiciones especiales, como en medios en donde existan sulfatos o agua de mar. No genera mucho calor al hidratarse.

Portland Tipo II o Modificado.

Este tipo de cemento se utiliza cuando se requieren resistencias iniciales bajas y resistencias últimas altas.

Portland Tipo III o de Endurecimiento Rápido.

Este cemento se utiliza cuando se requiere de una resistencia inicial más rápida que la del tipo II. Por ejemplo,

este cemento a los tres días alcanza una resistencia -- igual a la que un cemento normal alcanza a los siete días con la misma relación agua-cemento.

Portland Tipo V.

Se caracteriza por su rápido endurecimiento y su elevada resistencia a los agentes químicos, aguas de mar y sulfatadas. El empleo de este cemento, se recomienda en lugares en donde predominen temperaturas bajas.

Portland de Escoria.

Al igual que el anterior, se recomienda para construcciones en ambientes marinos. El inconveniente de este cemento es que no es muy comercial y solamente se surte sobre pedido. Su utilización no se recomienda en climas fríos - debido a su bajo desarrollo de resistencia y por ende de fraguado.

Portland Puzolánico.

Es un producto con resultados combinados ya que adquiere su resistencia igual que un cemento Portland Tipo I por su bajo nivel de hidratación, recomendándose este cemento para ser utilizado en cualquier situación, incluyendo ambientes que contengan sulfatos.

b) AGREGADOS.

Se entiende por agregado, al material inerte que está disperso dentro de la pasta de cemento el cual en volumen ocupa del 70% al 80% del mortero. Las características con las cuales debe cumplir un agregado para la fabricación de elementos de FERRO-CEMENTO entre otras son: consistencia fuerte, impermeable y ante una relación baja de agua cemento se produzca una mezcla trabajable. El agregado que cumple con estos requisitos, es el que está formado por sílice, roca basáltica, piedra caliza y coral. En cuanto a la granulometría, ésta deberá cumplir con lo establecido por la norma ASTM-C33-74a (figura II.2.).

c) AGUA.

El agua que se sirve a los habitantes de una población, normalmente cumple con los requisitos de pureza por lo cual se considera adecuada para la elaboración del mortero.

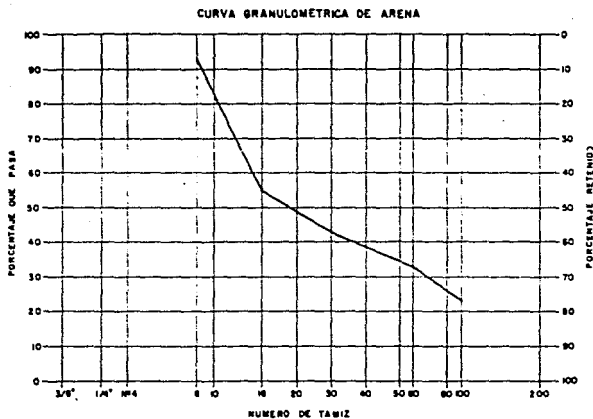


FIG. II.2. Granulometría de Agregados de acuerdo a la norma ASTM-C33-74a.

3. PROPIEDADES

No obstante el éxito del FERROCEMENTO en el mundo, se hace necesaria la investigación de sus propiedades y su comportamiento, con el objeto de tener una idea de los parámetros de diseño que se pueden manejar en las estructuras que se construyan con este material.

En las investigaciones realizadas a la fecha, se han empleado diferentes tipos de refuerzo.

Los métodos de ensaye varían de un investigador a otro, teniendo como consecuencia discrepancias y hasta contradicciones.

Los investigadores en nuestro país se dieron la tarea de hacer sus propias pruebas y ensayos, afín de determinar las características y propiedades del FERROCEMENTO y lo más importante, realizarlas con materiales existentes en el país y en particular con los que contamos en el Distrito Federal.

El FERROCEMENTO es un material con componentes similares a las del concreto armado; sin embargo su capacidad de resistencia a la Tracción, Impacto, Ductilidad y Fisuración son superiores.

El estudio de las propiedades mecánicas del FERROCEMENTO es complejo, debido a los factores que intervienen como lo son: el tamaño de las piezas, forma de las secciones, métodos de fabricación y los diferentes tipos de malla que se pueden emplear. A continuación se analizarán las principales propiedades del FERROCEMENTO.

A) TRACCION

La influencia que tienen las características del refuerzo metálico en la resistencia última del FERROCEMENTO sometido a tracción, quedan definidas por el tipo y tamaño de la malla de alambre a utilizar, por la resistencia y ductibilidad del alambre - así como el volumen de refuerzo empleado para esta prueba. Las características del mortero deben de permanecer constantes.

A continuación se presentan los resultados de diferentes tipos - de ensayos con diferentes cantidades y tipos de mallas en donde la separación entre los alambres de malla, varió entre 0.32 y - 5cm y el diámetro del alambre de 0.4 a 1.6mm. La resistencia máxima de los alambres varió de 3500kg/cm^2 a 11000kg/cm^2 (tabla II. 2, figura II. 3).

La carga de rotura de las probetas de FERROCEMENTO coincide con la carga última resistida por la armadura en esa dirección. La curva tensión-deformación obtenida del ensayo a tracción de una probeta de FERROCEMENTO muestra tres estados diferentes.

- Estado de comportamiento elástico hasta la aparición de la primera fisura.
- Estado de fisuración múltiple, en donde el número de fisuras aumenta al aumentar la tracción. El ancho de las fisuras aumenta en función de la separación de los alambres de la malla pero no va en proporción al aumento de la tracción.

Serie	Características de la Malla de Refuerzo	Diámetro del Alambre (mm)	σ_{max} del Alambre (kg/cm ²)	Nº de Capas de Refuerzo	Volumen de Refuerzo (%)	Deformación Unitaria (%)	Superficie Específica de Refuerzo (cm ² /cm ³)
A	Malla entrelazada cuadrada 6.4 x 6.4 mm	0.64	3270	1-3-5-7-9	0.9 a 8.1	5.5	0.57 a 5.17
B	Malla entrelazada cuadrada 12.7 x 12.7 mm	1.66	3990	1-2-3	2.8 a 8.5	14.0	0.71 a 2.15
C	Malla entrelazada cuadrada 4.2 x 4.2 mm	0.88	3570	1-2-3	2.6 a 7.9	14.8	1.19 a 3.57
D	Malla entrelazada cuadrada 12.7 x 12.7 mm	1.04	9800	2-4-6	2.1 a 6.3	1.58	0.81 a 2.43
E	Malla exagonal 25 - 35 mm	0.88	4480	6	3.4	—	1.53
F	Malla mi-exagonal 12 x 35 mm	0.81	5180	5	3.7	—	1.77
L	Malla entrelazada cuadrada 6.4 x 6.4 mm	0.64	11200	1-2-4-6	0.8 a 4.7	1.75	0.50 a 2.95
M	Malla entrelazada cuadrada 12.7 x 12.7 mm	1.64	9800	1-2-3-4	1.0 a 4.2	1.58	0.46 a 1.62
N	Malla soldada cuadrada de: 12.7 x 12.7 mm	1.60	5180	2	5.0	2.04	1.26
	25.4 x 25.4 mm	1.60	5460	2	2.5	3.72	0.69
	50.8 x 50.8 mm.	1.60	6230	2	1.6	2.67	0.42

Tabla II.2 Resultados de los ensayos a tracción.

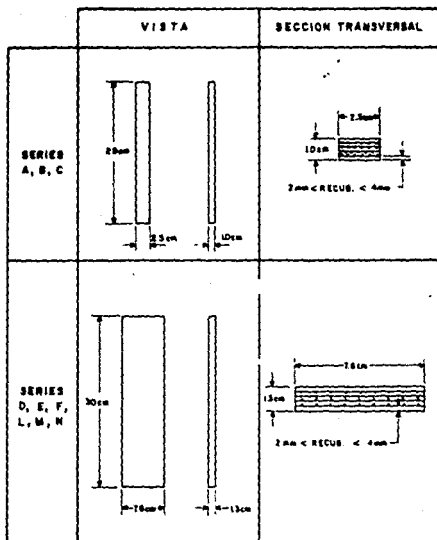


Fig. II.3. Probetas de las diferentes muestras de ensaye.

- Estado de apertura de fisuras. Aumenta el ancho de la fisura pero no el número de ellas (figuras II.4 y II.5).

De otro estudio experimental, se desprende la gráfica de FERROCEMENTO a tensión y sus características correspondientes en cada fase (figura II.6).

Rango Elástico. Curva de esfuerzo deformación lineal. No se han formado fisuras.

Rango de Agrietamiento. Se forman fisuras, aumentó del número de fisuras con el aumento del esfuerzo. Ensanchamiento de fisuras.

Rango de Fluencia. Con el incremento de la carga, aumenta el ensanchamiento de las fisuras. En esta situación, ya se formaron todas las fisuras y sólo existe ensanchamiento. A una cierta abertura de las fisuras, el esfuerzo toma la fuerza de tensión.

De los resultados obtenidos, se desprende que la capacidad resistente del FERROCEMENTO a tracción es muy similar a la capacidad resistente del refuerzo solo, colocado en la dirección de la carga.

La resistencia del FERROCEMENTO a la aparición de la primera grieta aumenta, al aumentar la cantidad del refuerzo.

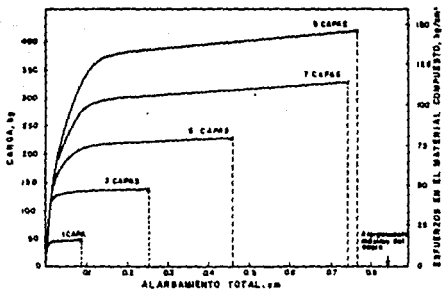


Fig. II. 4. Gráfica de los resultados de los ensayos serie A.

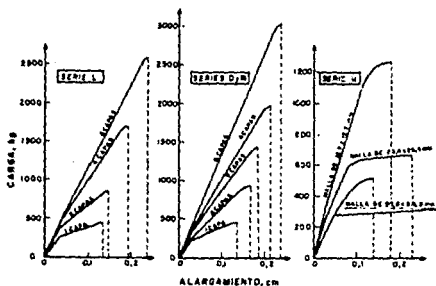
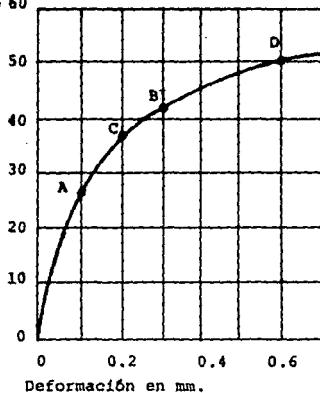


Fig. II. 5 Gráfica de los resultados de los ensayos series D, L, M y N.

Esfuerzo.

kg/cm², 60Fases del FERROCEMEN-
TO.

O-A Fase elástica

O-C Fase casi elástica

C-B Fase elástica no
lineal

B-D Fase plasto elástica.

Fig. II.6 Curva de esfuerzo-deformación de FERROCEMENTO a ten-
sión.

B) FLEXION

El análisis del FERROCEMENTO a flexión puede llevarse a cabo usando la propiedad del material compuesto. Generalmente las mallas de alambre están uniformemente distribuidas por toda la sección. Las deformaciones de las fibras de toda la sección transversal bajo esfuerzo varían directamente de su distancia al eje neutro (figura II.7).

En la tabla II.3, se presenta la capacidad de momento último y de flexión obtenida de varios ensayos.

El comportamiento del FERROCEMENTO sometido a flexión se obtuvo de ensayos practicados en moldes de 30x5.7x30 cm. En estos ensayos se utilizaron varios tipos y cantidades de refuerzo. En la tabla II.4, se presentan los tipos de mallas utilizados y en la tabla II.5 se presentan los resultados de la prueba a flexión. De lo anterior se desprende que las características resistentes del FERROCEMENTO a flexión depende de las características del refuerzo y del volumen del mismo, existiendo un valor de volumen de refuerzo tope por encima del cual no se obtienen aumentos en la capacidad resistente del conjunto, ya que la falla se produce por aplastamiento del mortero en compresión (figura II.8). Siendo el módulo de elasticidad antes de la aparición de la primera grieta, sensiblemente igual al del material sin refuerzo.

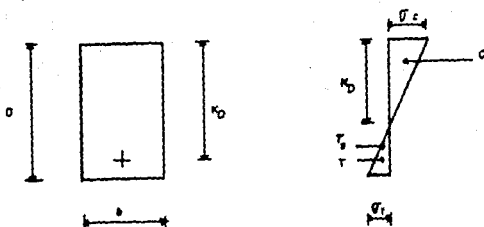


Fig. II. 7. Sección transversal y diagrama de esfuerzo de una sección de FERROCEMENTO a flexión.

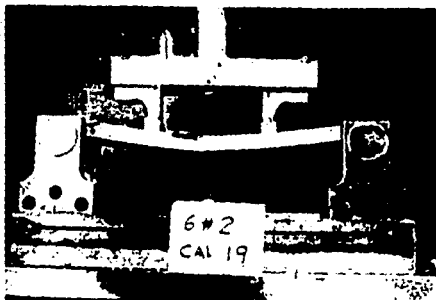


Fig. II. 8. Falla del mortero en la zona de compresión.

Malla	Alambre Ø mm.	Número capas	Resisten cia fluén cia.	Mu. kg/cm ² .	su.cm.
Malla soldada 13X13 mm.	0.107	2	4921	438	1.91
		4	4921	913	1.78
		6	4921	1333	2.16
Malla tejida 13X13 mm	0.107	2	6327	511	1.77
		4	6327	1089	2.01
		6	6327	1585	2.29
Malla tejida 13X13 mm	0.064	2	4850	334	0.64
		4	4850	672	1.52
		6	4850	951	2.54

Tabla II. 3, Capacidad de momento último y de deflexión del FERROCEMENTO.

Serie	Características de la Malla de Refuerzo	Díametro del Alambre mm	σ_{max} del Alambre kg/cm ²	Nº de Capas de Refuerzo	Volumen de Refuerzo %
I	Malla entrelazada cuadrada 6.4 x 6.4 mm	0.64	6335	0-14-6-8	0.00-6.32
II	Malla entrelazada cuadrada 6.4 x 6.4 mm	0.64	9800	2-4-6-8	1.56-6.32
III	Malla entrelazada cuadrada 12.7 x 12.7 mm	1.04	8050	2-4-6	2.06-6.15

Tabla II. 4. Características de las mallas de refuerzo a flexión.

Serie	Nº de Capas	Volumen de Refuerzo %	Esfuerzo Primera Grieta kg/cm ²	Esfuerzo Máximo en Flexión kg/cm ²	Módulo de Elasticidad Inicial kg/cm ²	Rigidez		Superficie Específica Total de Refuerzo cm ² /cm ³
						Inicial kg/cm	Final	
	0	0	62	62	—	—	—	—
I	2	1.58	72	140	—	—	—	0.99
	4	3.16	83	259	—	—	—	1.98
	6	4.74	87	411	—	—	—	2.98
	8	6.32	114	510	—	—	—	3.97
II	2	1.58	81	210	2.27 x 10 ⁶	0.844	0.239	0.99
	4	3.16	84	367	2.44 x 10 ⁶	0.990	0.334	1.98
	6	4.74	87	523	2.58 x 10 ⁶	0.947	0.572	2.98
	8	6.32	90	566	2.66 x 10 ⁶	0.876	0.638	3.97
III	2	2.06	66	206	1.99 x 10 ⁶	0.650	0.196	0.79
	4	4.12	71	373	2.20 x 10 ⁶	0.715	0.223	1.61
	6	6.18	75	483	2.45 x 10 ⁶	0.797	0.264	2.44

Tabla II.5 Resultados de los ensayos a flexión.

C) COMPRESION

La resistencia a compresión del FERROCEMENTO es función esencialmente de la resistencia a compresión del mortero, no afectándole el número de capas de malla de refuerzo.

Los ensayos realizados, se hicieron con morteros de composición constante con una relación agua-cemento de 0.6, arena-cemento - de 1.5 empleándose cemento Portland tipo III y arena de Ottawa - que pasa la malla #30. En la tabla II.6, se anotan los resultados obtenidos de los ensayos.

Todos los especímenes fallaron en corte (figura II.9). Deduciéndose que el material a compresión se comporta como material compuesto en los casos en los cuales el volumen de refuerzo supera un valor crítico y cuando el volumen de refuerzo es inferior al volumen crítico, la resistencia es inferior a la resistencia del mortero puro. Por lo que la resistencia última a la compresión se puede determinar sin considerar la contribución del refuerzo, ya que éste sufre pandeo. (figura II.10).

RESISTENCIA EN COMPRESION (KG/CM ²)					
	0 capas	2 capas	4 capas	6 capas	8 capas
	375	329	364	369	410
	437	350	336	430	504
	—	343	360	420	362
Promedio					
σ'_c	411	340	353	406	473

Tabla II. 6. Resultados de los ensayos a compresión.

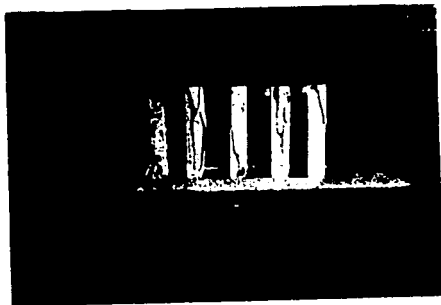


Fig. II. 9. Falla de los especímenes probados a compresión reforzados con 0,2,4,6,y 8 capas de malla.

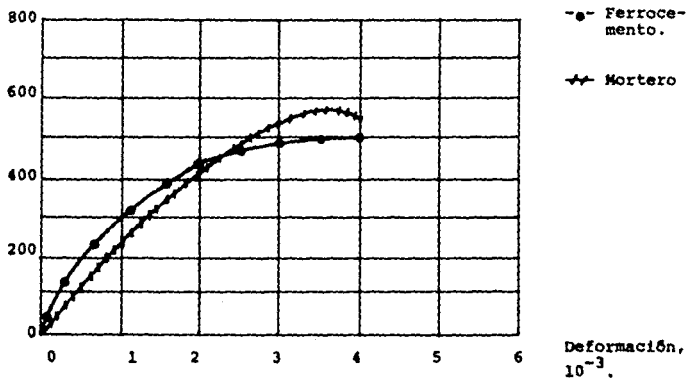
kg/cm^2 

Fig. II,10. Curva de esfuerzo-deformación del mortero y del FERROCEMENTO a compresión axial.

D) IMPACTO Y FATIGA

El estudio del comportamiento del FERROCEMENTO bajo condiciones de Impacto y Fatiga es muy significativo, particularmente en donde los elementos están sujetos a cargas similares. Lamentablemente hasta ahora poco se ha investigado de estas propiedades.

IMPACTO.

La resistencia al impacto del FERROCEMENTO es ligeramente mayor que la del concreto reforzado debido a su elevada capacidad de absorción de energía, ya que las mallas de refuerzo influyen en gran medida sobre la resistencia al impacto.

FATIGA.

En varios países, se ha estudiado la fatiga en el FERROCEMENTO tomando en cuenta el tipo de malla y el armazón, curado y tipo de cemento. KARASUDHI, MATHEW y NIMITXONGKUL. Obtuvieron los siguientes resultados en sus investigaciones (tabla II.7). En donde se puede concluir que la fatiga del FERROCEMENTO depende de las propiedades de fatiga del acero. De la figura II.11., se observa que la malla de alambre exagonal opuso mayor resistencia a la fatiga que la malla cuadrada soldada y que la de metal desplegado.

MALLA	ESFUERZOS (kg/cm ² .)			CARGA MAXIMA (kg)
	DE FLUENCIA	MAXIMO DE COMPRESION.	MAXIMO DE TENSION	
Malla cuadrada soldada con alambre de 0.08 cm. de diámetro. Seis capas de malla.	2600	194	72	1501
Malla de metal desplegado de 13X13. - con alambre de 0.05 cm. de diámetro. Seis capas de malla.	3018	197	71	1496
Malla tipo gallinero con alambre de 0.08 cm. de diámetro. - Seis capas de malla.	2172	172	62	1301

Tabla II. 7. Resultados de pruebas de fatiga en FERROCEMENTO.

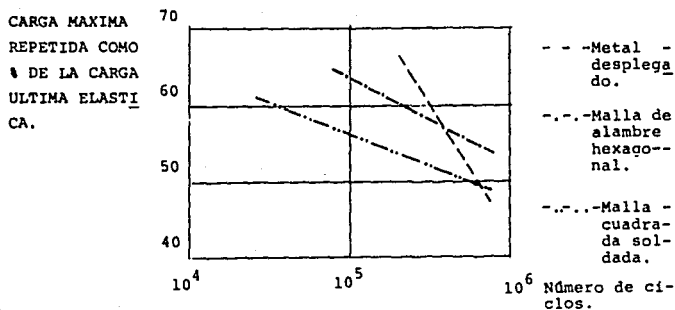


Fig. II. 11 Curvas de carga-ciclo en FERROCEMENTO.

E) DUCTILIDAD Y TENACIDAD.

DUCTILIDAD.

La ductilidad de un material se puede definir como la capacidad que tiene un material para deformarse antes de romperse. En el FERROCEMENTO se observa que a mayor número de capas de refuerzo se incrementa la deformación total máxima, aproximándose finalmente al valor de la deformación máxima del refuerzo solo.

TENACIDAD.

La tenacidad se puede definir como la máxima cantidad de energía que un material es capaz de almacenar antes de romperse. En los ensayos realizados, se observa que la tenacidad aumenta al aumentar la cantidad de refuerzo. También se observa que al incrementarse el número de capas de malla, se incrementa la contribución por cada capa (figura II.12).

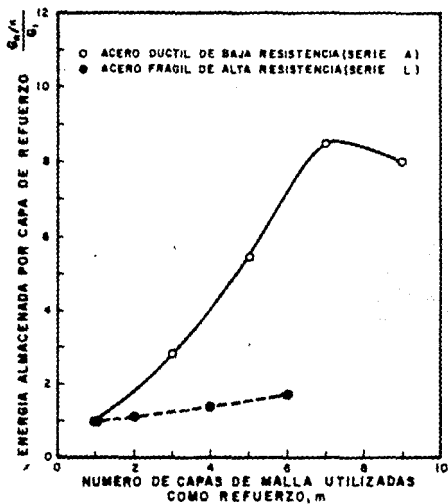


Fig. II.12. Energía absorbida por el material de FERROCEMENTO antes de la falla.

III. PROBLEMATICA DE UN EDIFICIO EN EL DISTRITO FEDERAL

Viendo el panorama existente en el año de 1985 en la ciudad de México, a raíz del sismo ocurrido el 19 de Septiembre de ese mismo año; en el que inmediatamente por instrucciones del ejecutivo, los organismos públicos correspondientes como la SEDUE, el Departamento del Distrito Federal, Petróleos Mexicanos, Instituciones privadas y de educación Superior como la UNAM y el IPN, se dieron a la tarea de realizar la verificación de las edificaciones que todavía quedaban en pie para determinar las condiciones físicas y estructurales de las mismas.

Es lógico suponer en la Ciudad de México, considerada entre las más grandes del mundo, tanto por su extensión como por la población que contiene, la gran diversidad de construcciones así como también la variedad en el método de diseño o estructuración para un mismo tipo de edificio, por lo que al realizar el peritaje en las edificaciones no era una tarea fácil. La edificación objeto de este trabajo, es un edificio de departamentos propiedad del ISSSTE, ubicado en la colonia Balbuena casi en el mismo centro de la Ciudad de México, en donde el subsuelo por sus características se considera como zona de lago.

1. ASPECTO TECNICO

Para poder hacer una evaluación definitiva de una estructura -

que haya sufrido algún daño por sismo, es necesario poder contar con toda la información acerca de la construcción de que se trate; se deberá contar con los planos, memorias de cálculo y estudios originales. La carencia de esta información o la posibilidad de algún incumplimiento en las especificaciones del proyecto original, conducen a verificar en campo, la información que sea necesaria y suficiente para poder dar la solución más óptima posible.

Lo primero que debe hacerse al iniciar un proceso de reparación o reforzamiento de una edificación, es hacer una visita al sitio para reconocer los daños sufridos. El personal encargado de realizar esta inspección, deberá ser un grupo de profesionistas calificados, provistos del equipo suficiente y adecuado para la evaluación y registro de sus observaciones.

Un reforzamiento se ejecuta cuando por la presencia de acciones externas al edificio, se pone en peligro su estabilidad, siendo las acciones sísmicas las que más daño ocasionan a una estructura.

Un reforzamiento sísmico al sistema estructural de algún edificio, es hacer una modificación juiciosa de las propiedades de la estructura que se trate con el objeto de mejorar su comportamiento para resistir futuros sismos.

Los principales componentes de cualquier técnica de reforza-

miento contra sismos son: Aumento de la capacidad de resistencia, Aumento de la capacidad de ductilidad, Equilibrio de las características de rigidez y resistencia de los elementos estructurales.

En la actualidad, existen tres razones por las que los edificios son reforzados para mejorar su comportamiento sísmico.

- 1.- Refuerzo del edificio dañado por sismo para mejorar su comportamiento para futuros movimientos sísmicos.
- 2.- Refuerzo del edificio para cumplir con las normas sísmicas de los reglamentos vigentes, cuando tienda a cambiar de uso o exista peligro potencial.
- 3.- Refuerzo del edificio voluntariamente por parte del propietario para dar seguridad a los ocupantes y al mismo tiempo proteger su inversión financiera.

El edificio que nos ocupa data del año de 1949, y como es lógico suponer el proyecto no se localizó en la Delegación Política ni en ninguna otra dependencia. Esta situación dió origen a una revisión un tanto exhaustiva in situ de la estructura a partir de la cimentación hasta la azotea, realizando calas por todos lados y en todos los niveles que pudieran revelar datos para proponer una solución de reforzamiento (planos ES-01, ES-03, ES-05, ES-06, ES-07 y ES-08).

Durante la revisión ocular, lo primero que saltó a la vista fue el desplome del edificio, el cuál presentaba una estructu-

ración a base de muros de carga de block hueco de 12X20X40 cm, muros cabeceros de block hueco vitrificado, cadenas de concreto reforzado de 20X20 cm, losas macizas de concreto armado de 10 cm de espesor, castillos ahogados en los huecos de los bloques y castillos de 15X15 cm (planos ES-01 y ES-03). Algunas piezas de block vitrificado presentaban fisuras, estrellamientos o pulverización por efectos de compresión. En la sala comedor, algunas losas presentaban flechas hasta de 10 cm respecto a sus apoyos. Al efectuar las calas, se pudo observar el tipo de armado en la cimentación (figura III.1). Al retirar el recubrimiento de los muros, se detectó la presencia de fisuras, grietas y oquedades (figura III.2). Al mismo tiempo se pudo observar que los muros no fueron reforzados con acero horizontal de acuerdo a lo establecido por las normas técnicas complementarias, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, para el diseño y construcción de muros de mampostería.

Después de que el perito responsable evaluara los daños del edificio en base a los datos obtenidos de las calas y observaciones, determinó en base a su experiencia, capacidad, profesionalismo y pleno conocimiento como técnico de las características físicas y mecánicas que ofrece el material de ferrocemento, la aplicación de éste como solución de reforzamiento para que la edificación no fuera demolida y siguiera funcionando apegándose al Reglamento de Construcción vigente. Con esta solución se garantizaba plenamente la estabilidad del edificio contra futuros movimientos sísmicos que no rebasaran los pará-

metros de diseño contemplados y por ende la seguridad de las -
personas que lo habiten en base a la solución técnica plantea-
da en los planos ES-01, ES-02, ES-03, ES-04, ES-05, ES-06, ES-
07 y ES-08.

2. ASPECTO SOCIAL

La sociedad Mexicana a partir de la década de los sesentas, ha
ido acumulando un déficit de vivienda, la cuál se ha estado -
agudizando cada día debido entre otras razones al alto índice_
de natalidad y a la concentración de la población en ciertas -
ciudades, que aunado al sismo citado, la situación se recrude-
ció a tal grado que el Gobierno tuvo que implementar una serie
de campamentos provisionales para alojar a las personas que se
vieron afectadas. En el caso que nos ocupa no se dió esta situa-
ción debido a la oposición que presentaron los ocupantes de -
los departamentos. Ante esta situación, habfa que acelerar los
trabajos de reforzamiento ante la potencial falla de la estruc-
tura al presentarse un nuevo sismo.

El programa general de obra consideraba tres meses para reali-
zar el reforzamiento, incluyendo el acabado final; tarea diff-
cil de llevar a cabo por las diversas situaciones que rodeaban
la ejecución, muchas de las cuales no eran fácilmente controla-
bles. Entre otras se tuvieron las siguientes:

- Ante la incertidumbre de la aplicación de este sistema_

de reforzamiento (utilizado por primera ocasión en este tipo de trabajo y desconocido para casi todos los participantes).

- Por el proceso de construcción (se verá en el siguiente capítulo) el cual sufrió algunas modificaciones.
- Tener que trabajar en los departamentos con los condóminos residiendo en forma permanente (48 departamentos, - 48 variables).

Empresa bastante difícil de llevar a cabo, ya que debería de existir una disposición total de la gente involucrada para lograr una total coordinación entre todos.

El Contratista.

Encargado de realizar los trabajos.

La Supervisión.

Se encargaría de vigilar que el proceso constructivo se llevara a cabo lo más apegado posible a lo indicado por el proyectista.

El Proyectista.

Tendría que estar pendiente para que en su momento, proporcionara soluciones alternas.

Y por último los participantes más importantes Los Condóminos.

Encargados de proporcionar el área de trabajo en las diferentes partes del departamento para poder cumplir con el programa parti

cular de cada uno.

Los problemas con los cuales hubo que enfrentarse en el transcurso de la obra entre otros fueron:

- Como es muy normal en nuestro medio, el cambio o modificaciones al proyecto original.
- Algunos condóminos se oponían al reforzamiento de sus departamentos, argumentando que no estaban dañados) situación que afectaba a los demás condóminos al no tener disponibles uno o varios lados en común.
- No obstante tener la autorización de los mismos para poder trabajar en los departamentos, se restringía el horario de trabajo a las mañanas o a las tardes, con la consecuente pérdida de continuidad en los trabajos, afectando el programa de obra general.



Fig. III.1. Cala en cimentación del edificio.

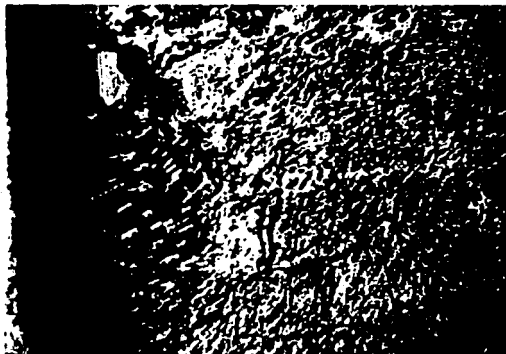


Fig. III.2. Grietas y oquedades en los muros.

IV. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DEL REFORZAMIENTO

Inconcientemente y haciendo uso del sentido común, salta a la vista después de conocer las múltiples aplicaciones que se le pueden dar al FERROCEMENTO en la industria de la construcción; que para cada elemento diferente que se construya con dicho material prácticamente existe un proceso constructivo.

Aparte de describir con detalle el proceso constructivo efectuado en el reforzamiento del edificio, se mencionarán brevemente los procesos constructivos de otros elementos que también se pueden realizar con este material.

1. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

La utilización del FERROCEMENTO a diferencia de otros materiales, no requiere de fuerza de trabajo especializada y utiliza materiales que fácilmente se pueden conseguir en cualquier localidad.

La habilidad en la técnica de construcción con este material se adquiere rápidamente, siendo un tanto necesario (en un principio) la supervisión por parte de una persona de cierta experiencia a modo de control de calidad.

A) METODO CONSTRUCTIVO APLICADO EN EL REFORZAMIENTO DEL -
EDIFICIO

El reforzamiento se programó en dos etapas, dividiendo para es to el edificio en cuatro módulos, de acuerdo al número de acce sos dos centrales y dos laterales. Se trabajaría en forma ver tical ascendente, iniciando por las partes laterales para ter minar al centro. Esto se planteó con el fin de afectar lo me nos posible a los condóminos y también para no sobrecargar de un solo lado el edificio.

En la siguiente relación, se enlistan los pasos que se siguie ron en la realización del reforzamiento.

- a) Retiro de mobiliario y protección del mismo.
- b) Apuntalamiento.
- c) Retiro de recubrimiento.
- d) Perforación y ranura de piso.
- e) Perforación de muros.
- f) Colocación de acero de refuerzo.
- g) Aplanado con mortero.
- h) Curado.
- i) Retiro de puntales.
- j) Aplicación de recubrimiento.
- k) Limpieza y otros.

a) Retiro de mobiliario.

Como se mencionó anteriormente había que trabajar con las personas que habitaban el departamento, lo que ocurrió en el 95% de los casos, por lo que hubo que realizar movimientos de mobiliario así como la protección del mismo con plásticos para evitar en lo posible su deterioro (figuras IV.1 y IV.2).

b) Apuntalamiento.

Hubo la necesidad de perforar las losas con el consecuente debilitamiento de las mismas para poder dar continuidad al acero de refuerzo vertical (Plano ES-07 y Figuras IV.3 y 4) por lo que se procedió a realizar el apuntalamiento de acuerdo a lo especificado en el proyecto el cual cumplía con tres funciones.

- 1.- Asegurar la estructura.
- 2.- Ofrecer un área de trabajo (1.00m).
- 3.- Aislar el área de trabajo del área restante ocupada por los condóminos.

c) Retiro de recubrimientos.

En la mayoría de los casos, los muros tenían algún recubrimiento o acabado que iba desde pintura vinílica pasando por pintura de esmalte, yeso, tirol hasta lambrín de madera. Hubo la necesidad de retirar dichos acabados, con el fin de que el FERRO CEMENTO tuviera la suficiente adherencia al muro por lo que fue necesario utilizar cuñas, mertelinadoras y agua para limpiar totalmente la superficie. (figuras IV.5 y 6).

d) Perforación y ranura de pisos.

Como se mencionó en el punto b, había que perforar las losas además de ranurar los pisos para que el desplante del mortero no se hiciera sobre el piso de mosaico de pasta sino de la misma losa, lo cual es muy importante.

Las perforaciones se pueden realizar con herramienta manual como lo es el rotomartillo, de tal suerte que se puedan realizar perforaciones con el diámetro necesario para que pueda alojarse una varilla del #4 y dos del #3. Para realizar las ranuras, se puede emplear una cortadora de disco de diamante también manual (Figuras IV.7 y 8).

e) Perforación de muros.

Estas perforaciones fueron necesarias para alojar los conectores con varilla del #2.5 para poder sujetar las varillas verti

cales y lograr una estructura monolítica como lo muestra el -- plano ES-05 y (Figuras IV.9 y 10).

f) Colocación de acero de refuerzo.

La malla que se utilizó en el reforzamiento fue una malla de - alambre exagonal tipo gallinero BWG 1"X22 de alta resistencia_ la cual tendría un traslape mínimo entre mallas de 10cm. Se em plearon dos capas de mallas cuya posición se observa en las fi guras IV.11 a la 15.

El acero de refuerzo utilizado fue de acuerdo al proyecto de - $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ utilizándose varilla del #2.5 para los conecto- res, del #3 para la cuadrícula de 50X50 cm, ganchos separado-- res y moños. Del #4 para dar continuidad a la varilla longitu- dinal al pasar por losas, y varillas de transferencia las cua- les se aprecian en el armado propuesto por el plano ES-07.

g) Aplanado con mortero.

Para la fabricación del mortero, se utilizó cemento Portland - tipo II el cual proporciona resistencias iniciales bajas y re- sistencias finales altas dando una estructura de gel más denso.

La arena que se utilizó y que aprobó el proyectista fue la del banco de Santa Fe. Esta arena ofrece las características sufi- cientes para elaborar morteros de calidad (Figuras IV.16 y - IV.17 Tabla IV.1).

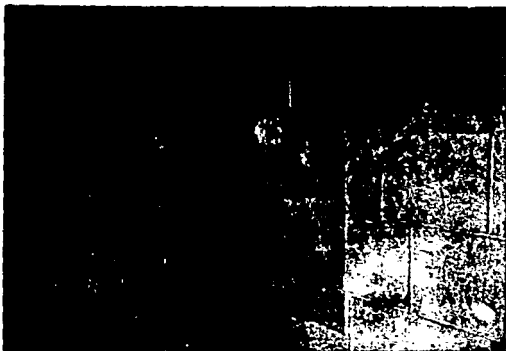


Fig. IV.1. Mobiliario retirado del área de trabajo.



Fig. IV.2. Mobiliario colocado en su sitio original.

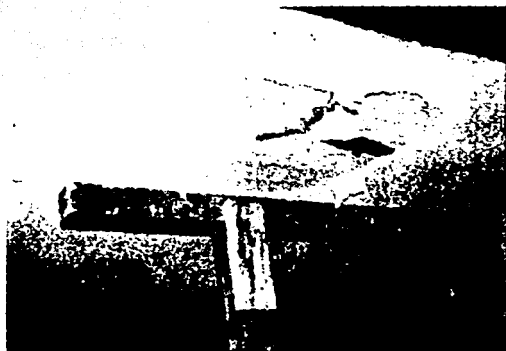


Fig. IV.3. Apuntalamiento en los departamentos.



Fig. IV.4. Vista general de apuntalamiento tipo.



Fig. IV. 5 Retiro de recubrimiento.



Fig. IV. 6. Muro sin recubrimiento.

Fig. IV. 7. Perforación
de losa.



Fig. IV. 8. Ranura en piso
para desplante de aplana
do.

Fig. IV. 9. Perforación de muros y vista general del armado.



Fig.IV.10 Perforación en con tratrabe de cimentación.



Fig. IV.11. Colocación de malla en cimentación.

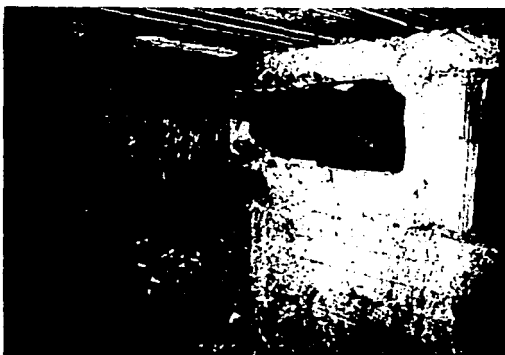


Fig. IV.12 Colocación de malla en cimentación.

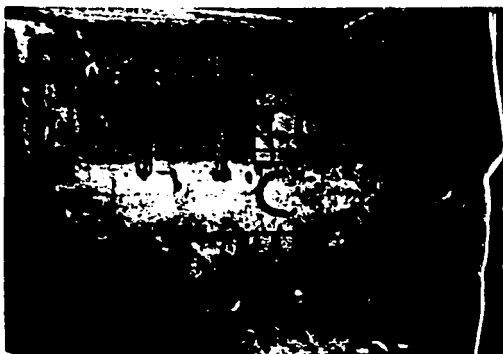


Fig. IV.13 Vista general de malla en cimentación.

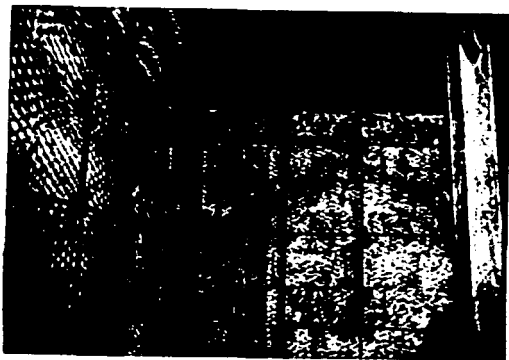


Fig. IV. 14 Muro reforzado con acero.



Fig. IV.15. Algunas variaciones en el armado ante algunas interferencias como en este caso un interruptor eléctrico.

Edad del mortero en días.

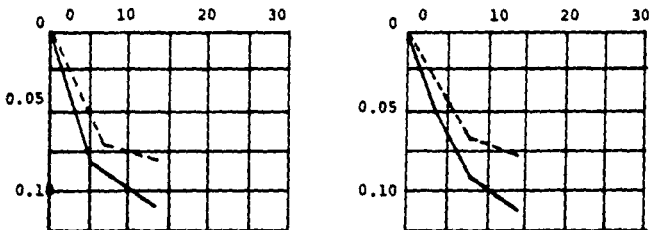


Fig. IV.16 Influencia de la arena en la contracción del mortero en relaciones arena-cemento igual a 1.5 y 2.0.

Edad del mortero en días.

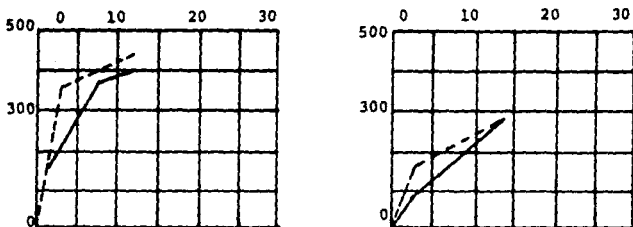


Fig. IV.17 Influencia de la arena en la resistencia a compresión.

Arena de Santa Fe: _____ Contracción en %.

Arena del Ajusco: _____ Resistencia en kg/cm^2 .

CONCEPTOS .	Bancos de material/ensayos.					
	Ajusco		Santa Fe		Ixmiquilpa	
	1	2	1	2	3	1
Cemento.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Arena	2.00	1.50	2.00	1.50	1.75	2.00
Agua (m3).	0.61	0.49	0.64	0.50	0.56	0.70
Cemento por m3 de mortero en kg/m3.	574	715	567	709	636	590
Revestimiento (cm).	2.5	2.5	3.0	2.9	3.0	6.0
Peso volumétrico en kg/m3.	2070	2135	2075	2115	2105	2100
Resistencia a compresión a 14 días de edad, en kg/cm ² .	282	326	289	305	293	250
Contracción por secado a 14 días de edad. (%).	0.080	0.082	0.118	0.116	0.115	0.125

Tabla IV.1. Propiedades y características de los morteros - estudiados con diferentes arenas y con diferentes proporciones.

El proporcionamiento sugerido por el proyectista fue el siguiente:

La relación cemento-arena de 1.5, la relación de agua-cemento de 0.40 en peso. Estas proporciones deberían dar por resultado una resistencia no menor a 250 kg/cm² a los 28 días, lo cual se comprobó con las pruebas que se realizaron.

El agua que se utilizó, fue la que provee el Departamento del Distrito Federal a través de las redes de agua potable, la cual se considera apropiada para la elaboración de morteros de calidad. La elaboración del mortero de acuerdo a los volúmenes que se iban a manejar, se realizó con una revolvedora de 1/2 - saco de capacidad en donde primero se mezclan el cemento y la arena para que finalmente se añada el agua y se mezclen los materiales hasta obtener una mezcla uniforme que normalmente se logra de 3 a 5 minutos de mezclado según el operario de la revolvedora.

Antes de la aplicación del mortero, como algunos muros se encontraban fisurados, agrietados o cuando se estaba retirando el recubrimiento se formaban huecos, mismos que había que reparar para que la superficie quedara completa para que al aplicarse el FERROCEMENTO no se presentaran fallas de adherencia al tener una superficie discontinua (figuras IV.6 y 11).

Al realizar la aplicación del FERROCEMENTO sobre la superficie de trabajo, éste ya había iniciado el fraguado debido al alto contenido de cemento por lo que el personal procedía a agregar agua al mortero con la consabida disminución de su resistencia. Esto se debía a que los recorridos eran muy largos desde el lugar de elaboración hasta el lugar de su colocación recordando que había que subir el mortero hasta un 5° nivel por lo que se recomendó replantear las condiciones del mortero para este tipo de situaciones en su relación cemento-agua, cemento-arena - sin que esto repercutiera en la disminución de la resistencia del mortero al modificar alguna o todas las variables. Para no estar probando relaciones de proporcionamientos, se optó por la utilización de un aditivo. Generalmente los aditivos se utilizan para mejorar una o más de las propiedades de los materiales. La mayoría de los aditivos se utilizan para mejorar la trabajabilidad, para reducir la exigencia de agua o para prolongar el fraguado del mortero.

El aditivo que se empleó fue un retardante y reductor de agua tipo D; ASTM C494-71, para obtener una mezcla más fluida y proporcionar mayor tiempo para aplicar el mortero antes de que inicie su fraguado sin que se alteren sus propiedades.

La aplicación del mortero se tuvo que hacer con la mano, la cantidad que se pudiera tomar con el puño y aventarlo aprovechando que el muro existente funcionaba como cimbra. Se jalaba

la malla externa a intervalos para que se lograra una distribución lo más uniforme posible.

Se tuvo que realizar en esta forma ya que con cuchara de albañil o llana, el mortero no fluía lo suficiente y se corría el riesgo de que quedaran huecos. Al cubrir el área de trabajo con mortero y antes de que este fraguara totalmente, se emparejaba la superficie con una regla de madera o de metal.

El proyectista indicaba un vibrado con lijadora orbital de las utilizadas por los carpinteros, lo cual en un principio se estuvo realizado con el objeto de evitar la formación de huecos y se presentara una discontinuidad que pudiera provocar una falla en la estructura. Se observó que al estar utilizando la lijadora se presentaba el efecto de sangrado lo cual como es lógico resulta contraproducente para el mortero al tener una pérdida rápida de agua y por consiguiente una rápida contracción manifestándose a través de las fisuras que se forman, por lo que el vibrado no es recomendable al menos en superficies verticales en donde se aplique FERROCEMENTO.

Los espesores que alcanzó el FERROCEMENTO de acuerdo al arreglo del refuerzo fue de entre 4 y 5 cm considerando que el recubrimiento del acero de refuerzo debería ser de un mínimo de 125 mm (figuras IV.18 a 21).

Fig. IV. 18. Aplicación de la primera capa de FERROCEMENTO.



Fig. IV. 19. Aplicación de mortero recientemente terminado.



Fig. IV.20. Junta fría de FERROCEMENTO por no tener acceso al departamento del nivel siguiente.



Fig. IV. 21 Aplanado de FERROCEMENTO terminado y curado.

h) Curado.

Esta actividad al igual que las anteriores, es de vital importancia para que el FERROCEMENTO tenga un comportamiento adecuado, ya que de no tener un buen curado puede echar por tierra un buen diseño tanto del mortero como del acero de refuerzo ante la aparición de fisuras o grietas que permitan el acceso a los agentes externos de corrosión.

El curado que se empleó al no presentarse las superficies reforzadas con FERROCEMENTO al medio externo en forma directa, fue el de curar con agua en forma continua lo que finalmente no funcionó por varias razones.

- 1.- Como el área de trabajo se encontraba habitada, al estar aplicando agua en forma continua por muy cuidadoso que se hiciera tendía a inundarse el área con la consiguiente protesta del condómino.
- 2.- La irresponsabilidad del contratista para estar aplicando agua en forma continua sobre los muros.
- 3.- La imposibilidad de la supervisión para checar que esta actividad se llevara a cabo, ya que se estableció curar las superficies de FERROCEMENTO tres veces al -

día durante un lapso de 15 días como mínimo. Esto último era imposible o muy costoso de realizar debido a - que el personal en la industria de la construcción - trabaja medio turno el día sábado y el día domingo es descanso obligatorio, aunado a que la mayoría del personal que trabaja en la Ciudad de México viene de los estados circunvecinos.

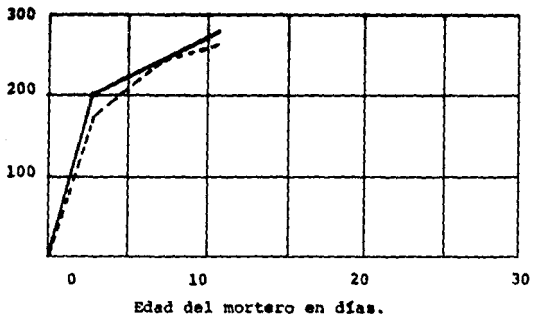
Ante esta situación, se optó por utilizar una membrana para curar concreto con el fin de obtener los mismos resultados, aplicando cuatro capas con brocha o dos capas si se aplica con aspersor. La membrana de curado, contribuye a mejorar la calidad de los morteros aumentando su resistencia a la compresión y disminuye el efecto de contracción por secado en un 12% (figura IV. 22).

1) Retiro de puntales.

El retiro de los puntales de acuerdo a lo recomendado por el proyectista se podría realizar a las tres semanas posteriores a la aplicación del FERROCEMENTO y al mismo tiempo se podría iniciar el retiro de la membrana de curado con agua y jabón para proceder a la aplicación del acabado final.

Resistencia a compresión (kg/cm^2). — Con membrana

- - - Sin membrana



Contracción en %

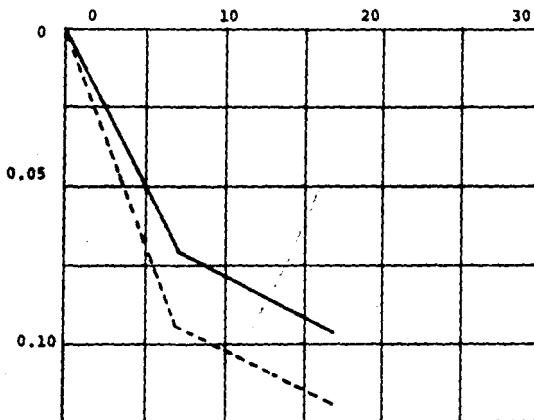


Fig. IV.22. Influencia del curado en el mortero.

j) Aplicación de recubrimiento.

Como se mencionó en el punto c, todos los departamentos tenían uno u otro tipo de recubrimiento por lo que había que colocar un acabado final sobre el aplanado de FERROCEMENTO.

Dada la gran variedad de acabados que se encontraron, no era posible colocar el acabado original por lo que se optó por proponer tres alternativas de acabado generales.

- Pintura vinílica y/o Pintura esmalte.
- Lucido de Yeso y Pintura vinílica.
- Tirol Planchado.

Al aplicar cualesquiera de los recubrimientos planteados, en ningún caso se presentó algún problema de adherencia, por lo que se recomienda aplicar cualquier tipo de recubrimiento sobre el FERROCEMENTO.

k) Limpieza y otros.

Es evidente que en cualquier tipo de obra y ésta no fue la excepción de lograr mantenerla en condiciones permanentemente limpia por lo que fue necesario limpiar todo el edificio en su parte interior y la exterior, máxime que se trataba de departamentos habitados.

Entre otras actividades que no están íntimamente ligadas con el proceso constructivo del FERROCEMENTO pero que bien vale la pena por lo menos mencionar son:

- Colocación de vigueta IPR 6"x4" X12 kg/m para evitar vibraciones en las losas de entre piso (Plano ES-05 y figura IV.23).
- Instalación eléctrica.
- Carpintería.
- Vidriería.

Con todos los pros y contras señalados, el tiempo necesario para terminar un departamento inicialmente fue de un mes y medio. Hubo casos especiales en donde el departamento fue desocupado en su totalidad y el tiempo de duración de los trabajos se redujo a 20 días; o sea que en condiciones prácticamente ideales u óptimas, el tiempo se redujo en un 50%.



Fig. IV. 23. Vigueta IPR en lecho bajo de losa.

B) OTROS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

a) Pequeñas embarcaciones

El procedimiento empleado por el inventor del FERROCEMENTO - J.L. LAMBOT consistía en construir una jaula de malla con la forma adecuada para que sirviera como soporte del mortero - sin necesidad de utilizar moldes.

La colocación del mortero se hacía con llana presionando para que penetrara a través de la malla y tratando de conseguir una compactación lo más perfecta posible. Técnica empleada básicamente para la construcción de pequeñas embarcaciones.

b) Prefabricados

1.- ENCOFRADO TIPO SANDWICH.

Permite fabricar varios tipos de secciones pero el control de la posición y por tanto de los recubrimientos es escaso. Se requiere de una vibración de larga duración para compactar el mortero dada la pequeña distancia entre moldes, ocasionando la segregación (figura IV.24).

2.- POR PLEGADO.

Consiste en obtener una lámina plana de FERROCEMENTO - sobre un molde horizontal de una cara articulado. Inmediatamente el molde se dobla por sus articulaciones consiguiéndose secciones en lámina plegada. Las mallas deben ser lo suficientemente flexibles como para permitir el plegado sin problemas (figura IV.25).

3.- POR ELEVACION.

Es similar al anterior; el molde plano tiene un contorno perimetral móvil que es elevado después del vertido del mortero, obteniéndose una superficie curva (figura IV.26).

4.- POR PRENSADO.

Las mallas se colocan sobre un molde en donde se vierte el mortero. El elemento se obtiene por prensado. Las dimensiones del elemento se pueden controlar no así la situación final de las mallas y la penetración del mortero. Este método es muy útil para la fabricación de elementos pequeños (bloques) (figura IV.27).

c) CONSTRUCCION DE CUBIERTAS.

Se coloca el acero de refuerzo del armazón el cual esta - constituido por varillas y alambrón, la mallá con un traslape mínimo de 5cm de acuerdo a la forma que vaya a tener la cubierta. El mortero se coloca con una cuchara de albañil o simplemente se aplica con la mano. Primero en la - parte superior mientras que por la parte inferior se cuida que el mortero no se desprenda de la mallá. Al término de esta actividad, se procede a darle el acabado final para que en un término de siete días se cure la cubierta - con agua o mediante la aplicación de una membrana para obtener los mismos resultados.

d) CANALES DE RIEGO.

Se realiza la excavación del canal, ya sea a máquina o a mano. Se procede a afinar los taludes y plantilla con un margen de error de 5mm se coloca una base de mortero pobre con un espesor no mayor a un centímetro con el fin de que el refuerzo no tenga contacto directo con el suelo.

Se tiende una capa de malla, una capa de mortero, otra capa de malla y una segunda capa de mortero suficiente para cubrir la segunda capa de refuerzo para obtener un espesor total de revestimiento de 2cm (figura IV.28 y 29).

e) CONSTRUCCION DE BARCOS.

Existen dos métodos de aplicación del mortero en la construcción de barcos; el método de una etapa y el método de dos etapas.

El método de una etapa se refiere a una sola aplicación monolítica del mortero para rellenar la malla de acero, dando el acabado interior como el exterior al mismo tiempo antes de que se inicie el fraguado del mortero.

El método en dos etapas se refiere a la aplicación del mortero primero en un lado, presionándolo hasta que pase a las superficies internas del alambre central, se da el acabado al lado externo y se cura. Los huecos que quedan, se llenan después del otro lado al que posteriormente se le da el acabado final y curado.

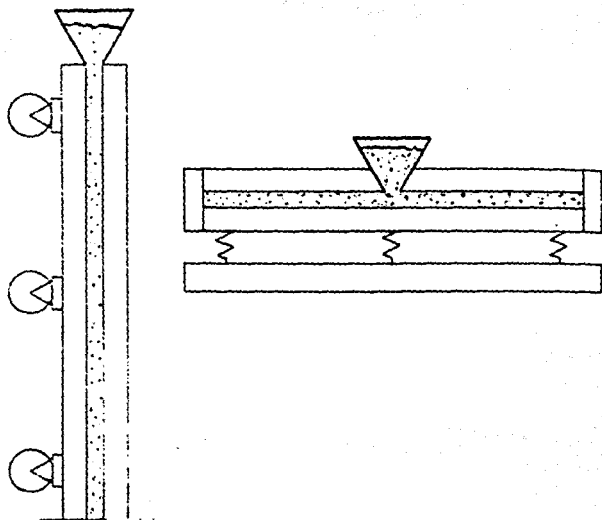


Fig. IV.24. Encofrado tipo sandwich.

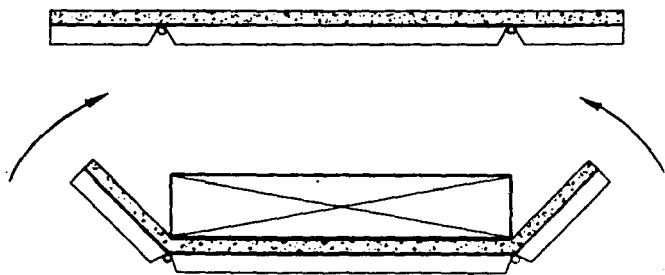


Fig. IV.25 Fabricación por plegado.

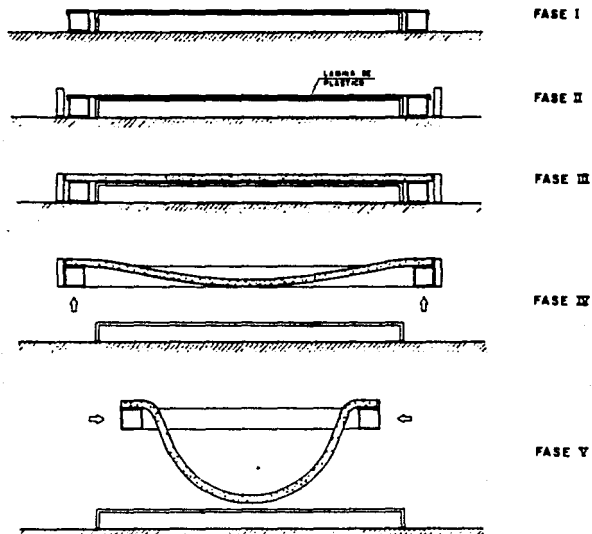


Fig. IV.26.Fabricación por elevación.

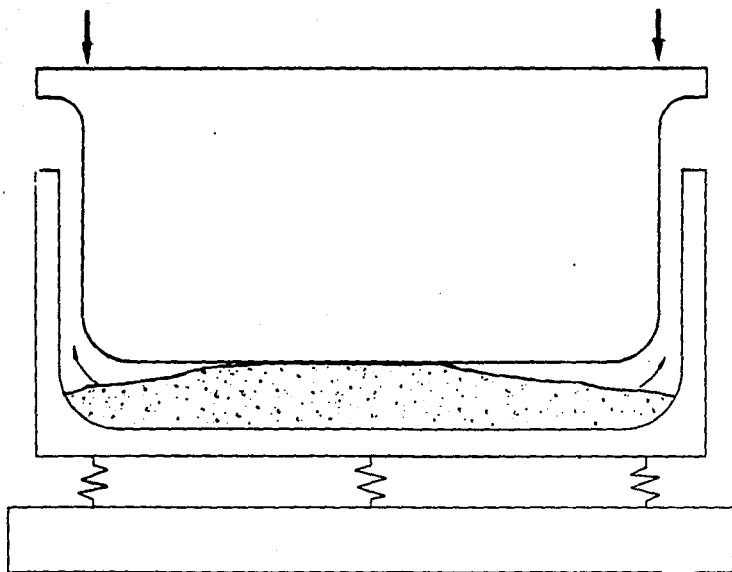


Fig. IV.27 Fabricación por prensado.



Fig. IV.28. Colocación de tela en canal.



Fig. IV.29. Afine y curado de talud.

V. CONCLUSIONES

Después de haber visto la versatilidad que ofrece el FERROCE--
MENTO, es de vital importancia llegar a una o varias conclusiones, siendo necesario e inevitable establecer las ventajas y -
desventajas que puede ofrecer este material. Empezaremos por -
las ventajas.

Numerosas son las ventajas que se le atribuyen tales como:

- Bajo costo. La mayoría de los autores por no decir que_
la totalidad de ellos coinciden en este punto.
- Mantenimiento nulo.
- Moldeabilidad.
- Facilidad de utilización en construcción y reparaciones.
- Durabilidad.
- Resistencia al fuego.
- Utilización de mano de obra no especializada.
- No se requiere de equipos o instalaciones que puedan re-
presentar inversiones considerables (exceptuando posiblemente
la fabricación de elementos prefabricados).
- Puede emplearse ampliamente en autoconstrucción.

Entre las desventajas que tiene el FERROCEMENTO son:

- Peso propio.

Las cuales pueden abatirse empleando la creatividad innata al ser humano.

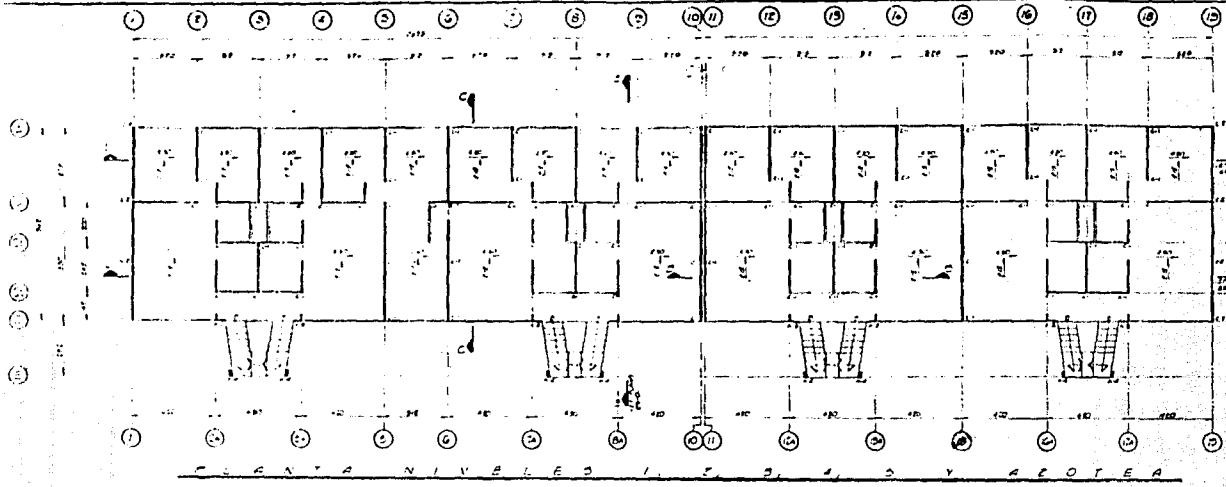
Evidentemente que con la aparición de este nuevo material se abrió la posibilidad de diseñar elementos que posean características de resistencia y ductilidad en campos reservados a los metales, plásticos y materiales tradicionales como lo es en el caso de algunas techumbres, aulas, costureros, comisarias, bodegas, porquerizas, casas habitación, talleres, tiendas, etc., que podrían construirse con FERROCEMENTO, lo que reportaría un beneficio social y económico para el país, tanto en el medio rural como en el medio urbano, en donde ha demostrado su funcionalidad y eficacia a través del uso que se le dió de acuerdo a lo expuesto en este trabajo.

Por otro lado las dependencias oficiales como Conasupo y Andsa, podrían introducir el uso del FERROCEMENTO en las Bodegas o Si los que construyen, lo que representaría un ahorro económico considerable. Indudablemente que en el área rural se puede hacer bastante con este material ya que es factible en un 100% aplicarse en autoconstrucción.

Es agradable concluir aunque sea en forma parcial un trabajo que espero logre motivar a personas que tengan inquietudes con ganas de satisfacerlas.

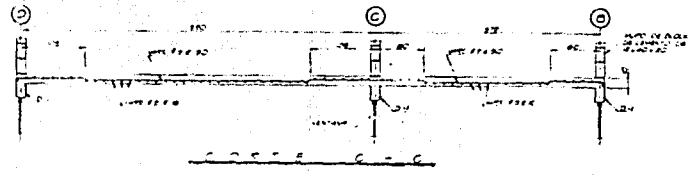
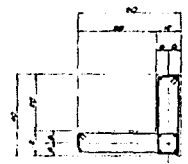
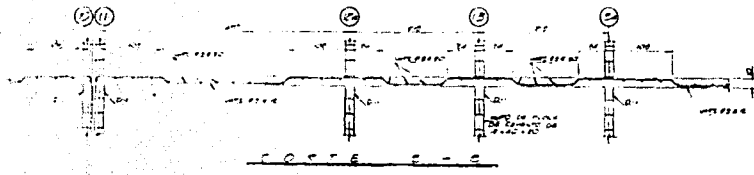
R E F E R E N C I A S .

- 1.- CASTRO ORVAÑANOS JOSE. "El FERROCEMENTO y sus posibles aplicaciones en México". II. Symposium UANL. 1974.
- 2.- ERAZO RIOS ENRIQUE. "Aplicaciones del FERROCEMENTO en México." III. Symposium UANL. 1977.
- 3.- OLVERA LOPEZ ALFONSO. "El FERROCEMENTO, material del futuro inmediato" III. Symposium UANL. 1977.
- 4.- NAAMAN ANTONIE Y RAMOS. "Propiedades mecánicas del FERROCEMENTO". Instituto de Materiales y modelos estructurales. Venezuela. Nos. 33 y 34 ENE-JUL.1971
- 5.- ORTEGA L.M. "El FERROCEMENTO: una nueva posibilidad en los materiales de construcción". Hormigón y acero No. 141. - 1981.
- 6.- CONCRET CONSTRUCCION USA. "Building a FERROCEMENT YACHT". - Vol. 16 No. 4 1971.
- 7.- B.K. PAUL Y R.P. PAMA. "FERROCEMENTO" Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. 1981.
- 8.- REVISTA IMCYC, VOL. XIV. No. 83/NOV/DIC/1976.



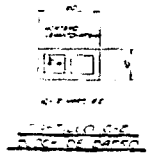
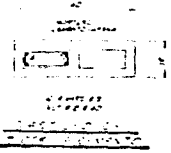
ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA 1 - PUENTE SIN VENTANA
 ALTERNATIVA 2 - PUENTE CON VENTANA
 ALTERNATIVA 3 - PUENTE CON VENTANA
 ALTERNATIVA 4 - PUENTE CON VENTANA



NOTAS

1. APLICACION DE CONTRAFUERTE INTERIORES EN PUENTE, DISEÑADO DE ACUERDO A LOS DATOS DE PUENTE.
2. VENTANA, VENTANA SIN CIERRE.
3. ESTE PLANO SE EQUIVALE CON LOS PLANOS DE PUENTE, PUENTE.

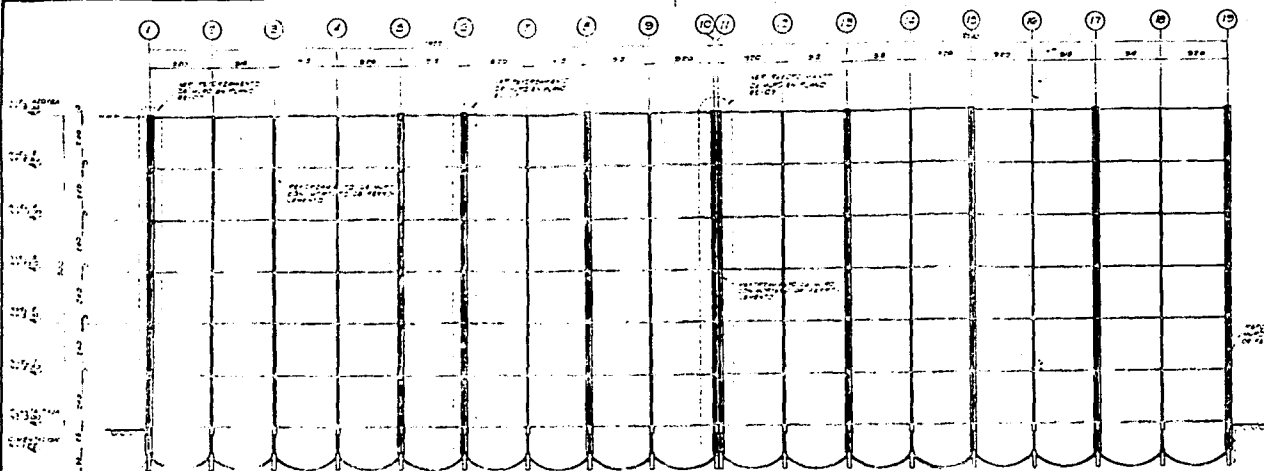


NO.	DESCRIPCION	FECHA	ELABORADO	REVISADO
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

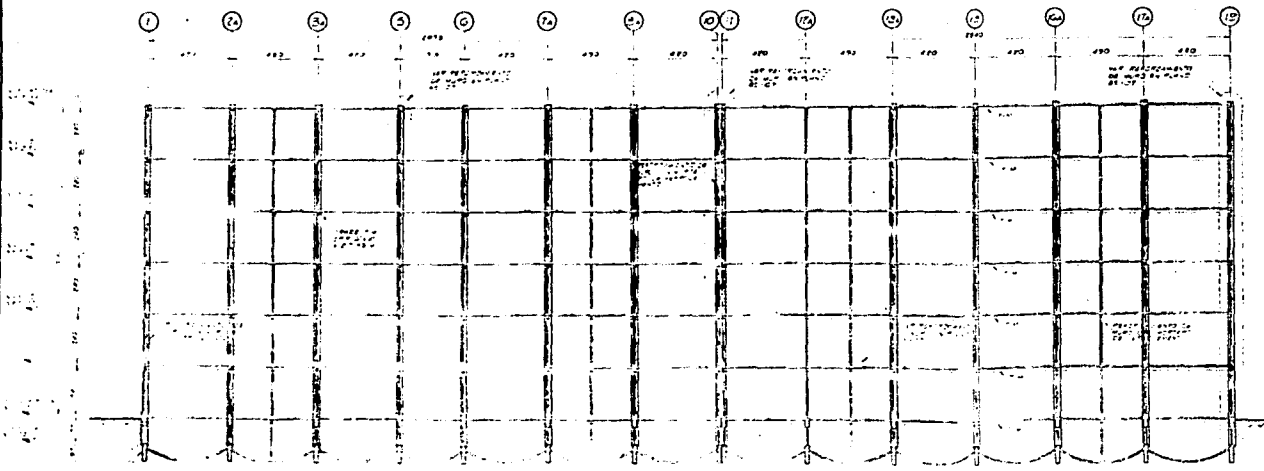
OPERA
EDIFICIOS B Y 7
UNIDAD 3, 2ª SECCION
 LOCALIDAD: MUNICIPIO MUNICIPAL JARDIN DE BALSABENA
 ESTADO: B. J. C. S.
 AUTOR: J. L. F. S.
 PLANO: LEVANTAMIENTO
PLANTA NIVELES TIPO Y DETALLES

PROYECTO	FECHA	FECHA	FECHA
PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO
PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO
PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO

ES-03



REINFORZAMIENTO DE
COLUMNAS Y VIGAS
DE PISO SUPERIOR

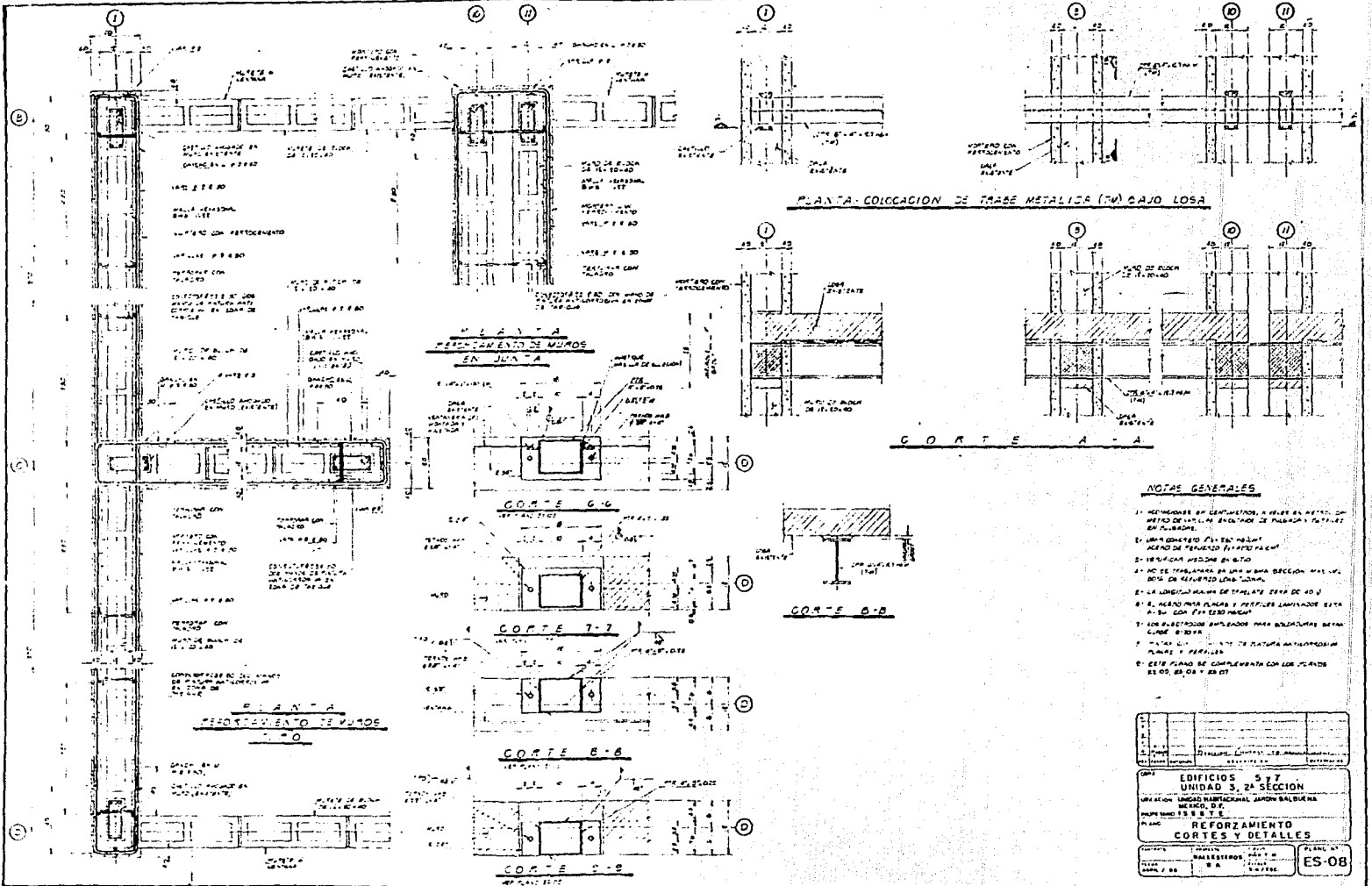


NOTAS GENERALES

- 1- REINFORZAMIENTO EN COLUMNAS Y VIGAS EN PISO SUPERIOR
- 2- REINFORZAMIENTO EN COLUMNAS Y VIGAS EN PISO INFERIOR
- 3- REINFORZAMIENTO EN COLUMNAS Y VIGAS EN PISO INTERMEDIO
- 4- REINFORZAMIENTO EN COLUMNAS Y VIGAS EN PISO DE PLANTA
- 5- REINFORZAMIENTO EN COLUMNAS Y VIGAS EN PISO DE PLANTA

PROYECTO	EDIFICIOS 5 y 7
UNIDAD	UNIDAD 5, 2ª SECCION
UBICACION	UNIDAD OPERACIONAL, BARRIO BALBUENA
CIUDAD	MEXICO, D.F.
FECHA	15 DE FEBRERO DE 1958
PLANO	REINFORZAMIENTO
	CORTE 4-4 Y CORTE 5-5

DISEÑADO POR: []
 REVISADO POR: []
 APROBADO POR: []
 ESCALA: []
 MATERIAL: []
 ES-06



PLANTA COLOCACION DE TABLAS METALICAS (TM) BAJO LOSA

CORTE A-A

NOTAS GENERALES

- 1- REINFORZAMIENTO DE CANTONEROS, A REALIZARSE EN DETALLE CON METODO DE LANTAS EN CANTONEROS DE PASADIZO Y PERFILES EN PLUMBOS.
- 2- UNAS CONCRETAS F30 EN DETALLE ACERDO DE REINFORZAMIENTO FIJADO PASO.
- 3- SE USARAN MEDIDAS EN METRO.
- 4- NO SE TENDRAN EN CUENTA LAS DESECCIONES PARA LOS BOCOS DE REINFORZACION UNAS.
- 5- LA LONGITUD MINIMA DE TABLEROS DEBE DE SER 40 D.
- 6- EL ACERDO PARA PLANERA Y PERFILES LAMINADOS ESTA A SU COMPLETO PASO.
- 7- LOS ELECTRODOS EMPALMADOS PARA BOCANEROS DEBE USARSE 8/30/4.
- 8- EN TAL CANTIDAD DE PLANTAS ANTERIORES PLANERA Y PERFILES.
- 9- ESTE PLANO DE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS 8100, 8108 Y 8107.

NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDADES	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

EDIFICIOS 577
UNIDAD 3, 2ª SECCION
 UNIDAD 304 REINFORZAMIENTO AMON BALBUENA
 MEXICO, D.F.
 PROYECTO F.S.B.T.E.
REINFORZAMIENTO
CORTES Y DETALLES
 ESCALA: 1/20
 DISEÑADO POR: []
 REVISADO POR: []
 APROBADO POR: []
 FECHA: []

ES-08