

8
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**"REPOSICION DE TECHUMBRES DE CARTON
POR CASCARONES DE FERROCEMENTO CON
METODOS DE AUTO - CONSTRUCCION"**

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
PRESENTA EL ALUMNO

Roberto Alfredo Alvarez Rodríguez

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO**

MEXICO, D. F.

1987



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.

**" REPOSICION DE TECHUMBRES DE CARTON POR CASCARONES DE FERRO
CEMENTO CON METODOS DE AUTO-CONSTRUCCION."**

I N D I C E .

	Prólogo.	
I.-	Antecedentes.	3
II.-	Propiedades y Comportamiento del Ferrocemento .	7
	a).- Comportamiento a la tensión.	29
	b).- Comportamiento a la compresión.	35
	c).- Comportamiento a la flexión.	38
	d).- Comportamiento al impacto	45
	e).- Agrietamiento	46
	f).- Permeabilidad	47
	g).- Resistencia al fuego.	47
	h).- Facilidad de construcción	49
	i).- Costo	50
III.-	Techumbres de Ferrocemento coladas in-situ . .	52
	a).- Especificaciones.	52
	b).- Métodos de construcción	58
	c).- Comportamiento	61
	d).- Costo	63
IV.-	Techumbres de Ferrocemento pre-fabricadas. . .	87
	a).- Especificaciones.	87
	b).- Métodos de construcción	92
	c).- Comportamiento.	99
	d).- Costo.	102
V.-	Conclusiones y Recomendaciones.	104
	Bibliografía	110

PROLOGO

Habitualmente en la construcción de casas habitación el costo de estas se ve incrementado por el costo elevado de la mano de obra especializada, así como por el consumo del material necesario para la construcción de la techumbre que generalmente es una losa plana; una manera de abatir dichos costos y lograr así vivienda económica para las clases sociales económicamente más desfavorecida es:

- 1.- Utilizar su propia mano de obra.
- 2.- Economizar en los materiales necesarios para la elaboración de la techumbre.
- 3.- Al poco uso de cimbra.

Esto se puede lograr si la techumbre es sencilla en su construcción y económica, en los materiales que intervienen en su elaboración, estas características las presenta el "FERROCEMENTO"; tiene una alta resistencia, durabilidad, impermeabilidad, y sobre todo seguridad, a pesar de su reducido espesor que la hace ser muy ligera, en la actualidad este material es poco conocido.

De ahí que el enfoque del presente trabajo sea el de presentar someramente los estudios correspondientes a las características fundamentales de este material y su elaboración realizados éstos en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M como primera parte de este trabajo y que comprende los capítulos: primero, segundo, y tercero.

Y como segunda parte de este trabajo los capítulos cuarto, quinto y sexto, en los que se habla de experiencias prácticas para la construcción de las techumbres, tanto prefabricadas como las hechas en el sitio de una manera clara y accesible a cualquier persona que se interese en estas techumbres como solución para su casa habitación logrando así que el mismo propietario la construya.

Hay que hacer notar que la solución que aquí mencionamos es sólo aplicable a la losa de azotea y no así a la de entepiso, (aunque actualmente hay algunos investigadores que están realizando trabajos relacionados para su aplicación ha éste fin) por el material de diseño y forma de la misma; ya que es por éste por lo que se tiene una menor carga y que en el caso de tener una losa plana se tiene una sobrada resistencia, haciendo, que se tenga menos dinero muerto y sin utilidad. Por éste motivo es conveniente la aplicación del " FERROCEMENTO " .

I.- ANTECEDENTES.

Siendo el FERROCEMENTO, un material que se empezó a utilizar por el año de 1847 en Francia, por Lambot, que -- fué el precursor del concreto reforzado, en la actualidad no existe un criterio definido para el estudio del mismo -- ya que como veremos ciertos conceptos y propiedades para -- diversos investigadores han sido diferentes.

Se define al FERROCEMENTO, como un material constituido básicamente por varias capas de mallas de alambre ahogadas en un mortero de cemento portland, cuya superficie específica S_L varía entre 2 cm^{-1} . y 3 cm^{-1} ., definiendo a ésta como el área de contacto del refuerzo entre el volumen de la pieza considerada; de la anterior definición se deduce que:

$$S_L = 2\pi \frac{d n}{a t}$$

En donde:

S_L = Superficie específica.

d = Diámetro del alambre.

n = # de capas de malla de refuerzo.

a = Espaciamiento del alambre.

t = Espesor del espécimen.

Siendo para Bezukladov la superficie específica "efectiva" el 90 % del valor derivado de la fórmula anterior -- y Shah, considera que para el cálculo de la superficie específica debe tomarse en cuenta únicamente el armado que -- existe, en el sentido en el que actúa la carga y por lo --

tanto el valor de la superficie específica es precisamente la mitad del valor derivado de la fórmula antes mencionada.

Es necesario comentar también que, cuando el valor de S_L es igual o menor a 0.5 cm^{-1} , se está hablando de concreto reforzado y si los valores exceden de 3 cm^{-1} , las características propias del FERROCEMENTO empiezan a variar, especialmente en lo que respecta a su resistencia a la compresión, que disminuye en forma notoria.

Entre los parámetros que pueden definir las propiedades del FERROCEMENTO tenemos:

- a) Diseño de la mezcla
- b) Tipo de agregado (tamaño, graduación, forma, -- contaminación)
- c) Edad del cemento
- d) Relación agua-cemento
- e) Tiempo de hacer la mezcla
- f) Condiciones en que se cuela (viento, humedad, -- temperatura)
- g) Curado (tipo, duración, temperatura)
- h) Grado de compactación
- i) Cantidad de vibrado (cuando se requiera)
- j) Armado (tipo, calidad, número de capas, juntas-entre capas, traslapes, amarres)
- k) Presencia de contaminantes en el armado
- l) Grado de corrosión del refuerzo
- m) Espesor del recubrimiento

Mencionaremos algunos valores reportados en algunos trabajos que por su notoria deferencia llaman la atención por ejemplo para el módulo de elasticidad Bezukladov propone un valor de $5.0 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$. para tensión y $2.0 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$. para compresión, suponiendo una resistencia mínima del mortero de 400 Kg/cm^2 . ; Rao propone 3.0×10^5 ---

Kg/cm^2 . para compresión, Walkus propone $2.1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ para tensión, Shah propone $4.2 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$. para tensión antes de aparecer la primera grieta y $2.1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$. para después de la aparición de la primera grieta; y así podemos citar los valores que obtuvieron diferentes autores para el comportamiento del FERROCEMENTO, a la tensión compresión, flexión, etc.

De lo anterior deducimos que es necesario desarrollar una tecnología propia que se adapte a las condiciones socio-económicas del país y utilice los recursos disponibles ya que la correcta aplicación de dicho material puede proporcionar importantes beneficios a la comunidad.

Entre las posibles aplicaciones del FERROCEMENTO está la construcción de silos de almacenamiento de granos y semillas como los hechos en Tailandia y Nueva Zelanda, así como los hechos en el Instituto Asiático de Tecnología de Bangkok, ya que debido al hermetismo que se logra al no permitírsele acceso de aire y agua, se obtiene una magnífica conservación del producto; la construcción de techumbres como las realizadas por Nervi en Italia, las de G. E. Khaidukov, logradas principalmente en Checoslovaquia y Rusia, las de R. Walkus, etc., pudiéndose enumerar los diferentes tipos de techumbres en los que sería favorable la aplicación del FERROCEMENTO, aprovechando la facilidad de lograr diferentes formas geométricas, con el consiguiente incremento de eficiencia estructural y ahorro en el peso y materiales que integran la estructura.

Entre otras de las aplicaciones del FERROCEMENTO, tenemos la construcción de depósitos de agua, fosas sépticas, W.C., lavabos, etc., así como la fabricación de cascos para las embarcaciones donde ya cuentan con cierta experiencia en éste campo países como Nueva Zelanda, In-

glaterra, Estados Unidos entre otros.

Aunque ya existe información al respecto, sobre todo en lo que se refiere a procedimientos para la construcción de embarcaciones, se recomienda la investigación de diferentes procedimientos para cada tipo de aplicación, con el objeto de asegurar la calidad del producto y facilitar su operación a las personas que lo manejen.

II.-PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DEL FERROCEMENTO.

En este capítulo se tratan aspectos técnicos del FERROCEMENTO, que por su naturaleza, se recomienda el estudio de éste, para toda aquella persona interesada en conocer los conceptos fundamentales del FERROCEMENTO, para el posterior diseño de elementos que se requieran; no teniendo mayor relevancia éste para aquellas personas que busquen una solución práctica para el problema de techumbres con la forma de cascarón aquí propuesta.

Como se ha visto el FERROCEMENTO, es un material poco estudiado y que para las condiciones socioeconómicas del país por su gran utilidad y bajo costo es recomendable estudiarlo, desarrollando una tecnología propia acorde con las condiciones del país. La Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Ingeniería, y la Universidad Autónoma Metropolitana, realizaron estudios básicos de lo que es el FERROCEMENTO, sus propiedades y comportamiento, de éstos estudios, se obtendrá una idea más o menos clara de lo que es este material, su adecuado procedimiento constructivo y el criterio y recomendaciones para el diseño de elementos estructurales con este material.

Para el estudio del comportamiento del FERROCEMENTO, se realizaron las siguientes consideraciones acerca de los materiales que intervienen en su elaboración como son el cemento, arena, la relación agua-cemento y el tipo de refuerzo a utilizar; llegando a concluir las características que deben reunir cada uno de ellos para lograr un mejor comportamiento y manejabilidad ya que por ejemplo, las mallas que pueden ser utilizadas como refuerzo, pue--

den ser de varios tipos y calibres y dependiendo su elección principalmente de la facilidad de adquisición en el mercado y de la eficiencia de la misma como elemento de refuerzo, entendiéndose como eficiencia, el costo del material por Kg/cm^2 de resistencia a tensión; entre las características principales del mortero se pueden mencionar -- que debe tener baja permeabilidad la cual implica la utilización de arenas bien graduadas y alto consumo de cemento, mínimas contracciones por secado y una manejabilidad adecuada para las condiciones de trabajo que se empleen. Lo anterior conduce a morteros de alta resistencia a la compresión, por lo general superiores a los 200 Kg/cm^2 .-

Para la elección del mortero a emplearse en la fabricación artesanal de techumbres de FERROCEMENTO, se exigió que éste cumpliera con los siguientes requisitos:

- a) Resistencia a la compresión a los 28 días mayor a 300 Kg/cm^2
- b) Manejabilidad adecuada para las condiciones de trabajo
- c) Alta impermeabilidad
- d) Baja contracción

Y con la finalidad de obtener resultados positivos a corto plazo, se limitaron las alternativas de los materiales con posibilidad a emplearse en el Valle de México a un solo tipo de cemento y a dos clases de arena que son

Cemento Tipo III, de México D.F.

Arena Andesítica de Santa Fe

den ser de varios tipos y calibres y dependiendo su elección principalmente de la facilidad de adquisición en el mercado y de la eficiencia de la misma como elemento de refuerzo, entendiéndose como eficiencia, el costo del material por Kg/cm^2 de resistencia a tensión; entre las características principales del mortero se pueden mencionar -- que debe tener baja permeabilidad la cual implica la utilización de arenas bien graduadas y alto consumo de cemento, mínimas contracciones por secado y una manejabilidad adecuada para las condiciones de trabajo que se empleen. Lo anterior conduce a morteros de alta resistencia a la compresión, por lo general superiores a los 200 Kg/cm^2 .-

Para la elección del mortero a emplearse en la fabricación artesanal de techumbres de PERROCEMENTO, se exigió que éste cumpliera con los siguientes requisitos:

- a) Resistencia a la compresión a los 28 días - mayor a 300 Kg/cm^2
- b) Manejabilidad adecuada para las condiciones de trabajo
- c) Alta impermeabilidad
- d) Baja contracción

Y con la finalidad de obtener resultados positivos a corto plazo, se limitaron las alternativas de los materiales con posibilidad a emplearse en el Valle de México a un solo tipo de cemento y a dos clases de arena que son

Cemento Tipo III, de México D.F.

Arena Andesítica de Santa Fe

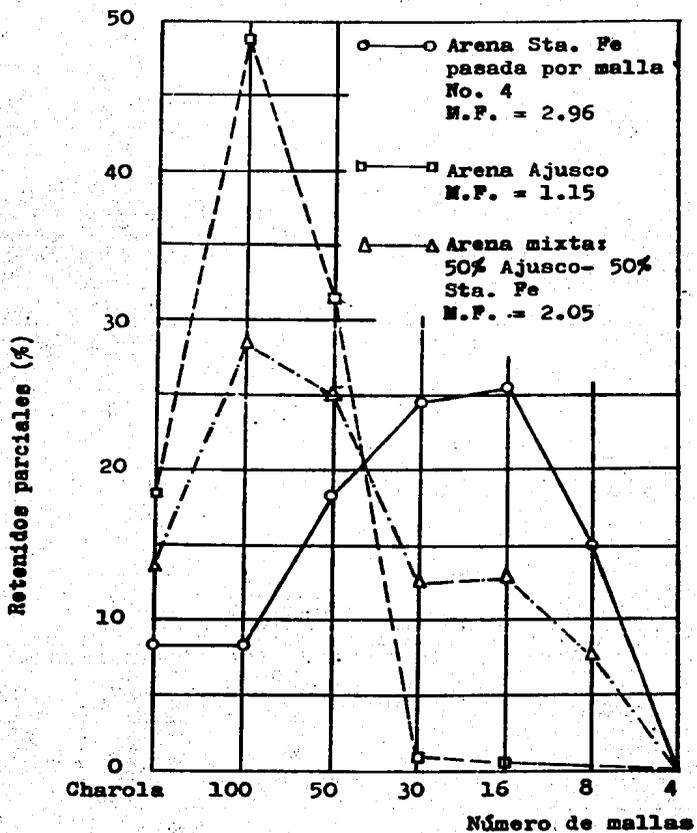
Arena Basáltica del Ajusco.

Aunque las características de la materia prima varía de un lugar a otro, el estudio realizado para la selección del mortero empleado en la construcción de los especímenes de ensaye, puede servir de guía para la selección de los proporcionamientos con las materias primas de cualquier otro lugar.

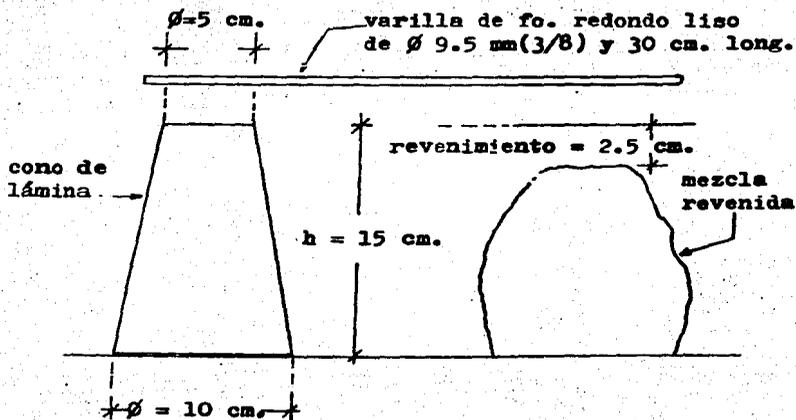
Con el tipo de cemento mencionado y las arenas se -- realizaron varias combinaciones que fueron ensayadas tomando en consideración:

- a) La influencia del cribado de la arena de Santa Fe por las mallas No. 4 (4.8 mm) y No. 8 (2.4 mm)
- b) Uso alternativo de la arena de Santa Fe, la arena del Ajusco y una combinación por partes iguales de éstas.
- c) Variación de la relación arena-cemento
- d) Efecto del curado con membrana

Debiendo tener éstos morteros una consistencia plástica ya que el mortero deberá ser mezclado a mano, para lo cual se obtuvo que éste tuviera de 2 a 3 centímetros de revenimiento medido en un cono truncado de tamaño reducido que tiene las siguientes medidas: 15 centímetros de altura con una base inferior de 10 centímetros de diámetro y base superior de 5 centímetros de diámetro, colocándose el mortero en tres capas con 25 golpes cada una, pa-



GRANULOMETRIA DE LAS ARENAS.



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

ra las condiciones de laboratorio el mortero contaría - con un 80 u 85 % de fluidez medido por 15 golpes en 10 - seg. en dicha mesa de fluidez (ASTM C 230) .

En cada mezcla de prueba se efectuaron las siguientes determinaciones:

- a) Consistencia (fluidez y revenimiento)
- b) Peso volumétrico
- c) Resistencia a la compresión (en cilindros - de 5 x 10 centímetros)
- d) Contracción por secado (en barras de 2.5 x 2.5 x 30 centímetros)

De los ensayos probados se pudo observar:

- a) cribado de la arena Santa Fe.- como la arena Santa Fe proviene de depósitos piroclásticos en los que también hay gravas, su tamaño máximo de partículas depende de las condiciones en que se efectuó el cribado original, - si bien normalmente contiene fragmentos de - hasta 10 mm (3/8") aproximadamente.

Tomando en consideración que las techumbres por construir serán muy delgadas, inclusive de 10 mm de espesor, - resulta evidente la necesidad de cribar esta arena para - suprimirle los fragmentos demasiado grandes. Se elaboraron morteros comparativos con arena pasada por la malla - No. 4 (4.8 mm) y la No. 8 (2.4 mm) a fin de determinar cuál de estas mallas resulta más convenientes para recribirla antes de su utilización. Se observó que el mortero con arena pasada por la malla No. 4 requirió menos --- agua de mezclado presentando un ligero aumento en la resistencia y una ligera disminución en la contracción por-

secado.

Se estima que si las aberturas de las mallas de re-
fuerzo admiten partículas de hasta 5 mm, debe procurarse-
emplear ésta arena recribada por la malla No. 4 en vez de
por la malla No. 8.

- b) Morteros con la arena de Ajusco.- Los morteros hechos con la arena de Ajusco, en las -- condiciones de prueba, produjeron resisten-- cias a la compresión del mismo orden de mag-- nitud que los hechos con la arena de Santa - Fe, pero su contracción por secado fué sensi-- blemente menor.

A cambio de éste aspecto favorable para la arena de Ajusco se observó otro desfavorable consistente en su incapacidad para retener toda su agua de mezclado, de mane-- ra que en los morteros con esta arena se manifestó tenden-- cia al "sangrado". Este aspecto parece relacionable con - la composición granulométrica de la arena que, solamente-- contiene fragmentos menores de 0.6 mm (malla No. 30) -- con muy pocas partículas verdaderamente finas (solamente-- el 1% pasa por la malla No. 200).

Considerando que la presencia del "sangrado" es fran-- camente indeseable en este caso, se juzga inadecuado el - uso de la arena de Ajusco como agregado único.

- c) Morteros con la arena de Santa Fe.- Las mez-- clas hechas con la arena de Santa Fe se ob-- serveron muy plásticas y cohesivas, sin mani-- festar tendencia al "sangrado", pero su con

tracción por secado resultó apreciablemente mayor que con la arena de Ajusco, conforme se hizo notar.

Tal comportamiento parece atribuible a que esta arena existe abundancia de partículas muy finas (10 % del material paso por malla # 200). Si la mayor contracción por secado del mortero dejara de ser un aspecto decisivo (ya que podría ser contrarrestado por la presencia de las mallas de refuerzo) entonces no parecería objetable el uso de la arena de Santa Fe, como agregado único de este mortero.

- d) Morteros con arena Mixta.- considerando -- las ventajas y desventajas mencionadas en las arenas de Ajusco y Santa Fe, se juzgó pertinente ensayar una combinación de ambas por partes iguales a fin de compensar sus respectivos aspectos indeseables.

Los morteros ensayados con esta arena mixta no presentaron "sangrado", sus resistencias fueron del mismo orden que las obtenidas con cada una de las dos arenas individualmente y su contracción por secado presentó valores intermedios. Este comportamiento en general se estimó mejor del que se obtuvo con los morteros hechos -- con cada una de las arenas por separado.

- e) Curado con Membrana.- Aunque la necesidad -- del curado siempre es evidente en este caso conviene enfatizarla debido al reducido espesor y gran superficie expuesta de los ele

mentos por construir.

En pruebas comparativas de morteros expuestos al ambiente sin ninguna protección y con un recubrimiento de membrana de curado se obtuvo con esta última mayor resistencia y menor contracción por secado. Se estima que una buena práctica a seguir en este caso sería curar permanentemente con agua durante los primeros siete días y a continuación, estando el mortero húmedo, aplicarle un recubrimiento de membrana de curado de buena calidad, en ambas superficies de las láminas de FERROCEMENTO.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, es posible recomendarse para la elaboración del FERROCEMENTO, en primer término al mortero hecho con arena mixta, con relación arena/cemento= 1.75, cuyas principales características y datos para su fabricación, son las siguientes:

C O N C E P T O S	D A T O S
1.- Cantidades de materiales, en peso, por Kg. de cemento	
CEMENTO	= 1.000 Kg.
ARENA AJUSCO	= 0.875 Kg.
ARENA SANTA FE (-No.4)	= 0.875 Kg.
AGUA TOTAL:	
a) si la arena está seca	= 0.530 It.
b) si la arena está saturada	= 0.430 It.
2.- Cantidades de materiales, en volumen, por Kg. de cemento:	
CEMENTO	= 1.000 Kg.
ARENA AJUSCO	= 0.640 It.
ARENA SANTA FE (-No.4)	= 0.640 It.

AGUA TOTAL:

- a) si la arena está seca = 0.530 Lt.
 b) si la arena está saturada = 0.430 Lt.

- 3.- revenimiento en cono tamaño reducido = 2.5 cm.
 4.- resistencia a la compresión a los 14 días cilindros de 5 x 10 cm. = 295 Kg/cm²
 5.- resistencia a los 28 días = 325 Kg/cm²
 6.- contracción por secado a los 14 días:
 a) sin protección = 0.095 mm/H.
 b) con membrana de curado = 0.077 mm/H.

Para el caso en que no pudiera disponerse de la arena de Ajusco, para este trabajo, se propone el siguiente mortero substituto hecho con la arena de Santa Fe y con la misma relación arena/cemento = 1.75

C O N C E P T O S	D A T O S
1.- Cantidades de materiales, en peso, por Kg. de cemento	
CEMENTO	= 1.000 Kg.
ARENA SANTA FE (-No.4)	= 1.750 Kg.
AGUA TOTAL:	
a) si la arena está seca	= 0.560 Lt.
b) si la arena está saturada	= 0.440 Lt.
2.- Cantidades de materiales, en volúmen, por Kg. de cemento:	
CEMENTO	= 1.000 Kg.

ARENA SANTA FE (-No.4)	= 1.280 Lt.
AGUA TOTAL:	
a) si la arena está seca	= 0.560 Lt.
b) si la arena está saturada	= 0.440 Lt.
3.- revenimiento en cono de tamaño - reducido	= 2.5 cm.
4.- resistencia a la compresión a -- los 14 días en cilindros de 5 x 10 cm	= 290 Kg/cm ²
5.- resistencia a los 28 días	= 320 Kg/cm ²
6.- contracción por secado a los 14 - días:	
a) sin protección	= 0.115 mm/M.
b) con membrana de curado	= 0.089 mm/M.

Las cantidades de agua de mezcla son aproximadas, — pues dependen del grado de humedad de la arena en el momento de su utilización. Considerando que la elaboración del mortero se hará en condiciones artesanales, no parece factible suponer que puedan hacerse correcciones al proporcionamiento de acuerdo con esta humedad. Por tanto se recomienda añadir el agua paulatinamente a la primera revuelta hasta llegar a un grado de consistencia que permita revolver y homogenizar la mezcla con herramienta de mano. La cantidad de agua así determinada deberá conservarse — constante en todas las revueltas subsecuentes, hasta en tanto cambien las condiciones de humedad de la arena en uso.

Con objeto de seleccionar los tipos de malla más adecuados se hizo una revisión de las disponibles en el mercado y para determinar su eficiencia se realizó un estudio de su comportamiento a tensión, tanto el de la malla-

sola como el de especímenes de FERROCEMENTO fabricados para tal objeto. Este tipo de ensaye se escogió pues - permite determinar la eficiencia del refuerzo si se -- mantiene constante todos los demás parámetros.

Se identificaron el primer lugar los tipos de mallas que podrían ser adquiridas fácilmente en el mercado, y se escogieron los más funcionables en cuanto a - forma, tamaño, resistencia, etc. Se seleccionaron las mallas cuadradas soldadas, las tradicionales de tela - de gallinero exagonal y las de metal desplegado, por - haberlas considerado más representativas y con mayores ventajas por su moldeabilidad y fácil aplicación del - mortero sobre ellas.

El metal desplegado y la malla de gallinero en dirección perpendicular a la de los alambres prácticamente no trabaja; para especímenes con dimensiones similares, ensayados en direcciones transversales se obtuvieron cargas de tensión del orden del 20 y 30 por ciento para las mallas de metal desplegado y de gallinero respectivamente, en relación a las obtenidas en los ensayes efectuados en la misma dirección que la de los alambres.

Para eliminar al mortero como una de las varia---bles que podrían intervenir en el estudio, éste se --- mantuvo constante y se trató que fuese lo más uniforme posible, en todas las etapas de fabricación; y con el fin de verificar la calidad de los morteros fabricados se tomaron de cada revoltura 9 cilindros para pruebas de compresión, tensión indirecta y módulo de elasticidad y 5 briquetas estándar para pruebas de tensión, habiéndose obtenido un mortero promedio que tiene los si

güientes valores:

a) resistencia a la compresión	= 346.5 Kg/cm ²
b) resistencia a la tensión <u>in</u> directa	= 29.45 Kg/cm ²
c) resistencia a la tensión <u>di</u> recta	= 26.62 Kg/cm ²
d) módulo de elasticidad	= 143 230 Kg/cm ²

Después de probar algunas formas de especímenes, se optó por el empleo de un prisma rectangular de 3 x 8 x 70 cm, tanto por la sencillez de su fabricación como por no presentar secciones con concentración de esfuerzos. Para poder analizar los resultados que se obtuvieron, se decidió representarlos en gráficas, relacionándolos con los valores del volumen de refuerzos y de la superficie específica de los especímenes correspondientes, el primero de los cuales se calculó en función del armado en el sentido de la fuerza aplicada al espécimen y el segundo tomando en cuenta toda la superficie de contacto:

$$V_r = \pi \frac{d^2}{4} \frac{n}{a t}$$

$$S_1 = \pi \frac{d n}{a t}$$

DONDE: V_r = Volúmen de refuerzo

S_1 = Superficie específica

d = diámetro del alambre

n = número de capas de mallas

a = espaciamiento del alambre

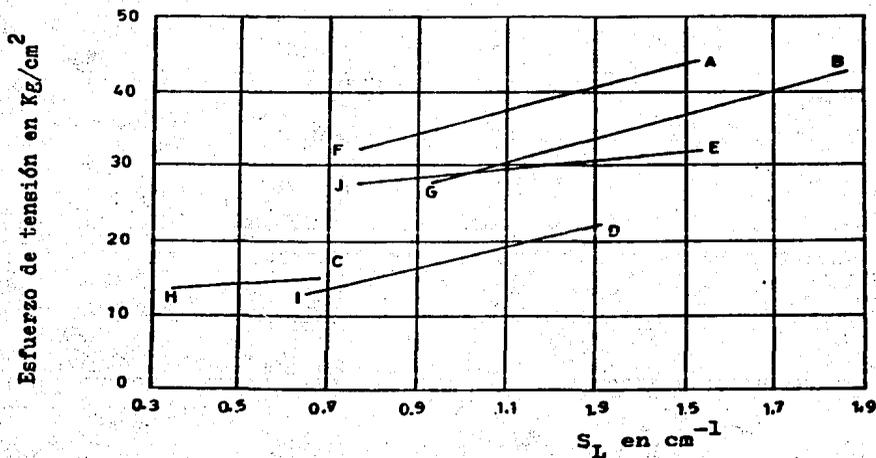
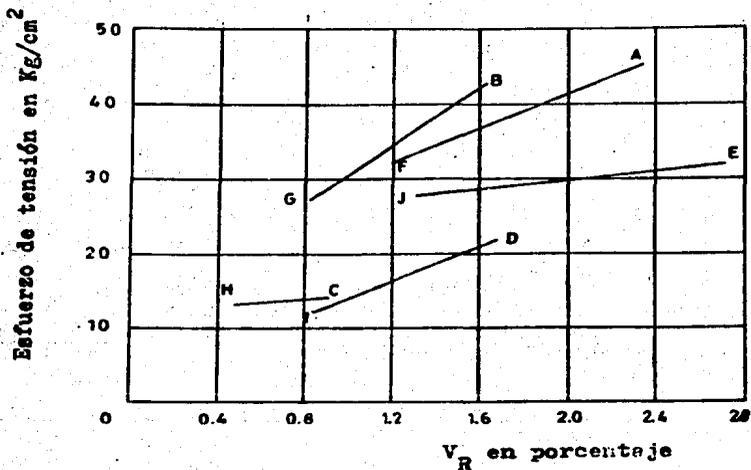
t = espesor del espécimen.

Definiendo al volúmen de refuerzo, como la relación del volúmen de acero de refuerzo existente en la zona de prueba entre el volúmen del espécimen en esa misma zona. La superficie específica, definida como la superficie de contacto del acero de refuerzo existente en la zona de prueba, entre el volúmen del espécimen en esa misma zona.

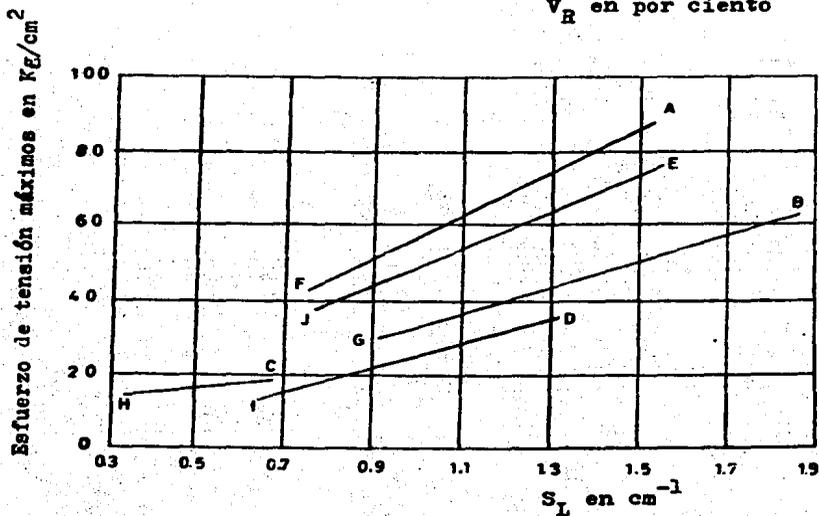
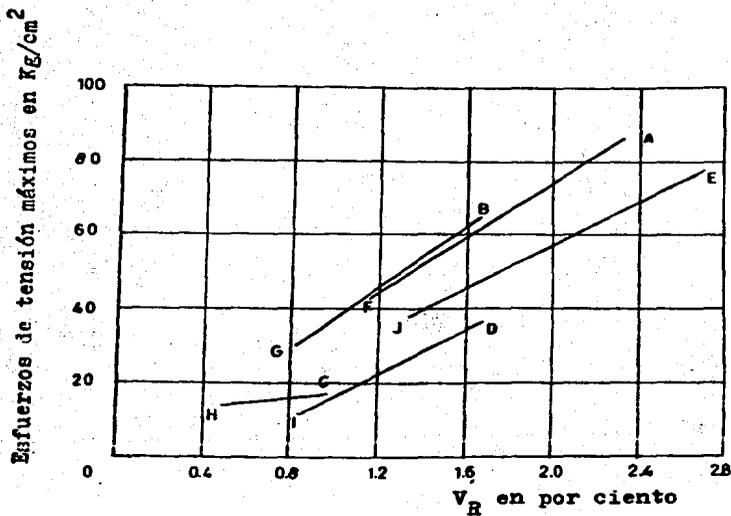
Y así de las pruebas que se llevaron a cabo se realizaron gráficas que representan los promedios de los resultados obtenidos, las gráficas que se realizaron fueron:

- a) Gráfica del esfuerzo a tensión para cuando aparece la primera grieta de 0.002 mm-
contra superficie específica.
- b) Gráfica del esfuerzo a la falla contra vo-
lúmen de esfuerzo en el sentido de la car-
ga.
- c) Gráfica del esfuerzo de tensión contra an-
cho de grieta.
- d) Gráfica de la relación costo entre el es-
fuerzo de tensión máximo contra volúmen -
refuerzo y superficie específica.
- e) Gráfica que relaciona al número de grietas
contra ancho grieta.

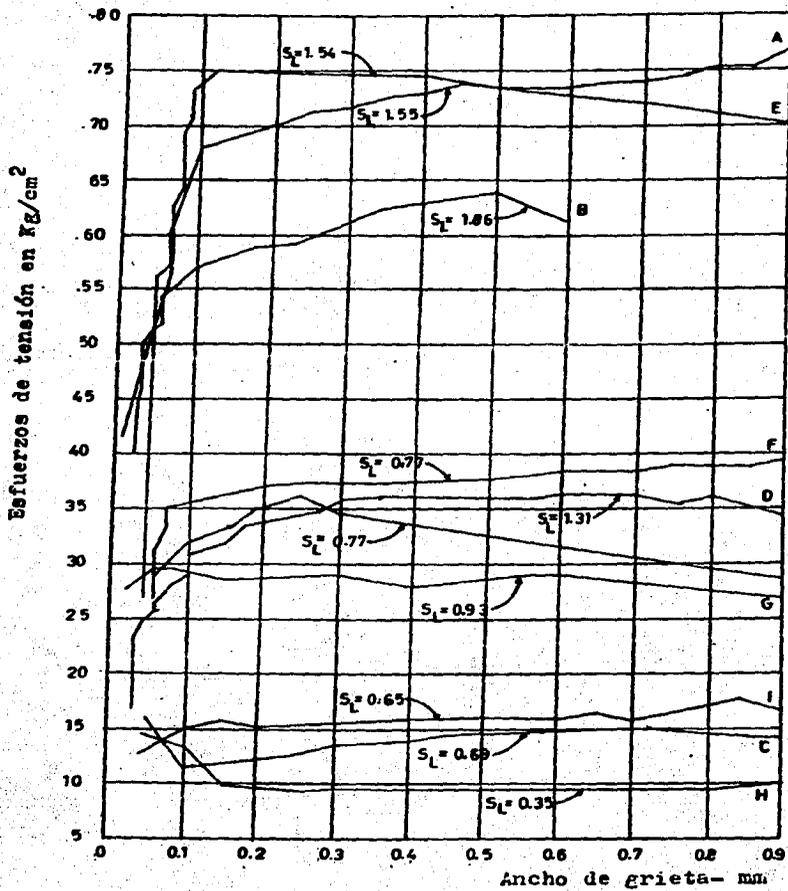
Del estudio de las anteriores gráficas mencionadas se pudo deducir que desde un punto de vista general y da-
do que la función de las mallas de refuerzo es básicamen-
te soportar las fuerzas de tensión que pudieran presen-
tarse y limitar el agrietamiento que dichas fuerzas oca-
sionan, las conclusiones que se establecen a continuación
están en función de ésta acción-respuesta.



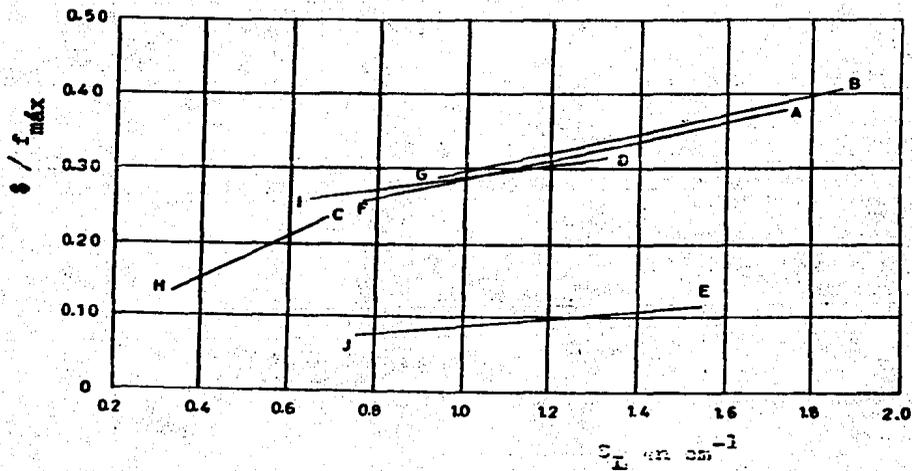
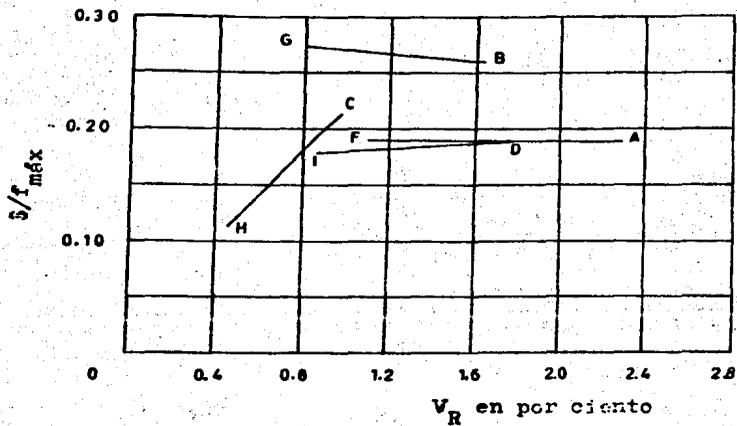
ESFUERZOS DE TENSION PARA UN ANCHO DE GRIETA DE 0.02mm/VOLUMEN DE REFUERZO Y SUPERFICIE ESPECIFICA.



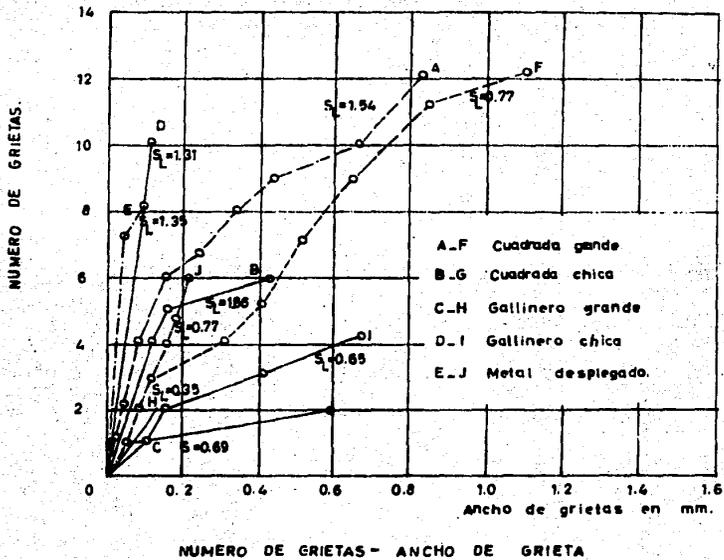
ESFUERZOS DE TENSION MAXIMOS QUE RESISTIERON LAS
PIEZAS DE FERROCEMENTO/ VOLUMEN DE REFUERZO Y SU
PERFICIE ESPECIFICA.



ESFUERZO DE TENSION- ANCHO DE GRIETA.



COSTO/ESFUERZO DE TENSION-VOLUMEN DE REPUEZO Y SUPERFICIE ESPECIFICA.



a) desde el punto de vista de resistencia a tensión, tanto para un ancho de grieta --- cualquiera como para la resistencia última los tipos de mallas estudiadas pueden clasificarse en el siguiente orden de prioridad:

- 1.- CUADRADA DE 13 x 13 mm
- 2.- METAL DESPLEGADO DE 10 x 20 (600 gr/m)
- 3.- CUADRADA DE 6.3 x 6.3 mm
- 4.- EXAGONAL DE 14.3 x 19 mm (gallinero chica)
- 5.- EXAGONAL DE 26 x 39 mm (gallinero grande)

b) Si se considera el agrietamiento como respuesta, el orden de prioridad en que se puede clasificar a igualdad de superficie específica sería:

- 1.- METAL DESPLEGADO DE 10 x 20 mm (600 gr/m)
- 2.- EXAGONAL DE 14.3 x 19 mm (gallinero chica)
- 3.- CUADRADA DE 13 x 13 mm
- 4.- CUADRADA DE 6.3 x 6.3 mm
- 5.- EXAGONAL DE 26 x 39 mm (gallinero grande)

c) Desde el punto de vista de eficiencia, costo por Kg/cm^2 de resistencia a tensión, la --- clasificación en orden de prioridad sería:

- 1.- METAL DESPLEGADO DE 10 x 20 mm (600 gr/m)
- 2.- CUADRADA DE 13 x 13 mm
- 3.- CUADRADA DE 6.3 x 6.3 mm

4.- EXAGONAL DE 14.3 x 19 mm (gallinero chica)

5.- EXAGONAL DE 26 x 39 mm (gallinero grande)

Una vez realizados los estudios correspondientes de todos y cada uno de los materiales que intervendrían en la elaboración del FERROCEMENTO, se diseñaron especímenes y métodos de ensayos adecuados para el estudio del mismo se elaboró un programa de ensayos del material bajo diferentes acciones considerando como importantes su comportamiento a la tensión, compresión, flexión e impacto, así como determinar algún índice que permita estimar el grado de aislamiento térmico e impermeabilidad que se pueda lograr con éste material; sin olvidar encontrar un sistema constructivo sencillo con el que en forma casi artesanal gente del campo este en condiciones de contruir diversas estructuras de FERROCEMENTO y aprovechar la mano de obra calificada. Teniendo en cuenta ésto, se fabricaron las probetas utilizando dos métodos: uno representativo de las condiciones de campo y de acuerdo con las observaciones de la eficiencia de las mallas de refuerzo se eligieron dos tipos de éstas para estudiar su comportamiento bajo los diferentes tipos de acciones; éstas fueron: la de metal desplegado de 600 gr/M y la malla exagonal de 14.3 x 19 mm (malla de gallinero chica), la primera se seleccionó debido a su bajo costo y buen comportamiento ante la acción-respuesta estudiadas y la segunda, se escogió debido a la facilidad que presenta para ajustarse a cualquier forma y por ser más común en el mercado; habiéndose estudiado también la malla de metal desplegado de 1000 Gr/M por ser adecuada para usarla en estructuras con altos esfuerzos de tensión y donde el número elevado de -

capas de refuerzo (más de 12) podría ocasionar problemas con la buena compactación del mortero; habiéndose variado la cantidad del refuerzo empleado en los especímenes de ensaye con un espesor teórico de éstos de 2 cm. en los siguientes valores:

Metal desplegado, 600 Gr/M.

NOMENCLATURA	No. DE CAPAS	VOLUMEN DE REFUERZO $V_r \%$	SUPERFICIE ESPECIFICA $S_1 \text{ cm}^{-1}$
PL-600-3	3	1.16	0.86
PL-600-6	6	2.32	1.72
PL-600-9	9	3.48	2.58
PL-600-12	12	4.64	3.44

Metal desplegado, 1000 Gr/M.

NOMENCLATURA	No. DE CAPAS	VOLUMEN DE REFUERZO $V_r \%$	SUPERFICIE ESPECIFICA $S_1 \text{ cm}^{-1}$
PL-1000-2	2	1.65	0.93
PL-1000-4	4	3.29	1.87
PL-1000-6	6	4.94	2.80
PL-1000-8	8	6.59	3.74

Exagonal de 14.3 x 19 mm (en dirección del alambre)

NOMENCLATURA	No. DE CAPAS	VOLUMEN DE REFUERZO $V_r \%$	SUPERFICIE ESPECIFICA $S_1 \text{ cm}^{-1}$
--------------	--------------	------------------------------------	---

GA-1/2-2	2	0.69	0.48
GA-1/2-4	4	1.38	0.97
GA-1/2-6	6	2.08	1.45
GA-1/2-8	8	2.77	1.93

Exagonal de 14.3 x 19 mm (en dirección perpendicular al del alambre)

NOMENCLATURA	No. DE CAPAS	VOLUMEN DE REFUERZO		SUPERFICIE ESPECIFICA S_1 cm ⁻¹
		V_r	%	
GA-1/2-2 T	2	0.52		0.48
GA-1/2-4 T	4	1.04		0.97
GA-1/2-6 T	6	1.56		1.45
GA-1/2-8 T	8	2.08		1.93

En la selección de las cantidades de refuerzo se tomó en cuenta las recomendaciones hechas por varios autores en el sentido de que para que el FERROCEMENTO, se pueda analizar como un material homogéneo debe tener una superficie específica superior a 0.5 cm⁻¹ siendo los valores usuales los comprendidos entre 2 y 3 cm⁻¹. Para cantidades inferiores, el material se comporta como si fuera un mortero reforzado y se deberá analizar como se hace con el concreto.

En todos los especímenes fabricados se empleó el mismo mortero, eliminando de esta forma las variaciones debidas a posibles cambios de este material.

A) Comportamiento a la tensión.- Para poder --

analizar su comportamiento a la tensión se analizó a los ensayos de FERROCEMENTO, en dos etapas principalmente, la primera a la aparición de la primera grieta y la segunda la forma en que se presentaba el agrietamiento hasta un ancho de grieta de 2.5mm después del cual se consideró que el material había fallado.

Así para obtener los esfuerzos una vez que aparecía la primera grieta se determinó la dimensión que debería tener esta en base de su comportamiento por corrosión e impermeabilidad, considerando que el material es impermeable para un ancho de grieta de 0.02 mm, habiendo reportado en sus estudios BEZUKLADOV, que para un ancho de grieta de 0.05 mm y una carga hidrostática de aproximadamente 5 metros de agua, los recipientes de FERROCEMENTO, dejan pasar ligeramente el agua, pero que estas grietas se sellan por si solas.

Como ya se había mencionado antes las mallas de metal desplegado y las de gallinero solo trabajan en la dirección perpendicular los esfuerzos son del orden de un 30 % de los obtenidos en la dirección de los mismos, para valores de superficie específica similares.

Así se tiene que los esfuerzos en el que se produce el agrietamiento inicial es proporcional a la superficie específica del refuerzo. Los esfuerzos en el FERROCEMENTO, se pueden calcular con las siguientes expresiones:

Para metal desplegado con superficie específica su-

perior a 1 cm^{-1} y para un ancho de grieta de 0.02 mm y 0.05 mm, el esfuerzo de tensión en la dirección en que se encuentran los alambres es:

$$F_t \text{ 0.02} = 11 + 12 \quad S_L \geq 25 \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_t \text{ 0.05} = -3.5 + 27.3 \quad S_L \geq 25 \text{ en Kg/cm}^2$$

Para malla exagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm)- con superficie específica superior a 0.5 cm^{-1} y para un ancho de grieta entre 0.05 y 0.10 mm y en la dirección de los alambres.

$$F_t = 13.8 + 13.1 \quad S_L \geq 20 \text{ en Kg/cm}^2$$

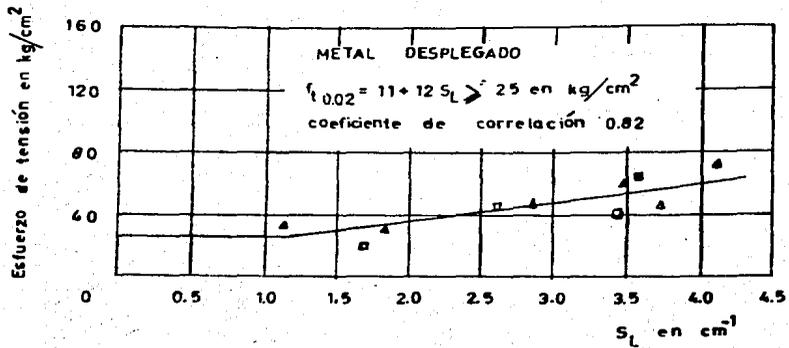
la dirección perpendicular a los alambres y para los mismos anchos de grieta, los esfuerzos de tensión -- vienen dados por la expresión:

$$F_t = 6.7 + 3.2 \quad S_L \geq 10 \text{ en Kg/cm}^2$$

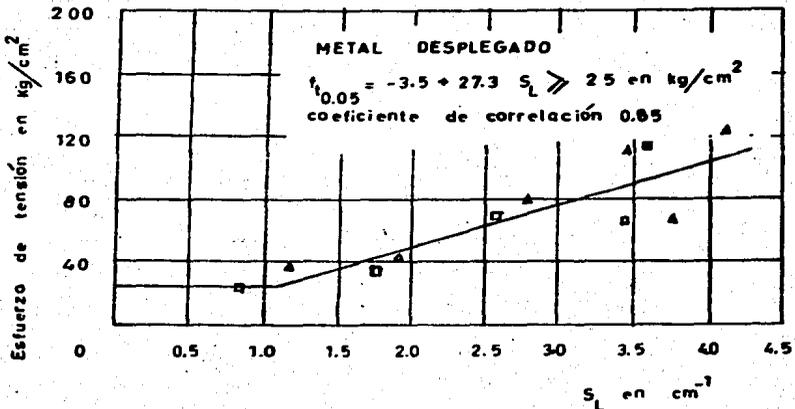
Los esfuerzos de tensión máximos promedio, en dirección de los alambres para valores S_L comprendidos entre 1 y 4 cm^{-1} se pueden calcular con las siguientes expresiones:

$$F_t \text{ máx} = 17.8 + 32.4 \quad S_L \geq 25 \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_t \text{ máx} = 38 \quad v_r^{0.69} \geq 25 \quad \text{en Kg/cm}^2$$



ESFUERZO DE TENSION PARA UN ANCHO DE GRIETA
DE 0.02 mm.



ESFUERZO DE TENSION PARA UN ANCHO DE GRIETA
DE 0.05 mm.

Para volúmenes de refuerzo comprendidos entre 1.5 y 8 % .

Para malla exagonal (gallinero 14.3 x 19 mm) y para valores de superficie específica comprendidos entre 0.5 y 2 cm⁻¹ y volúmen de refuerzo entre 0.5 y 2 % en la dirección de los alambres.

$$F_t \text{ máx} = 16 + 17.1 S_L \geq 20 \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_t \text{ máx} = 29 V_R^{0.47} \geq 20 \text{ en Kg/cm}^2$$

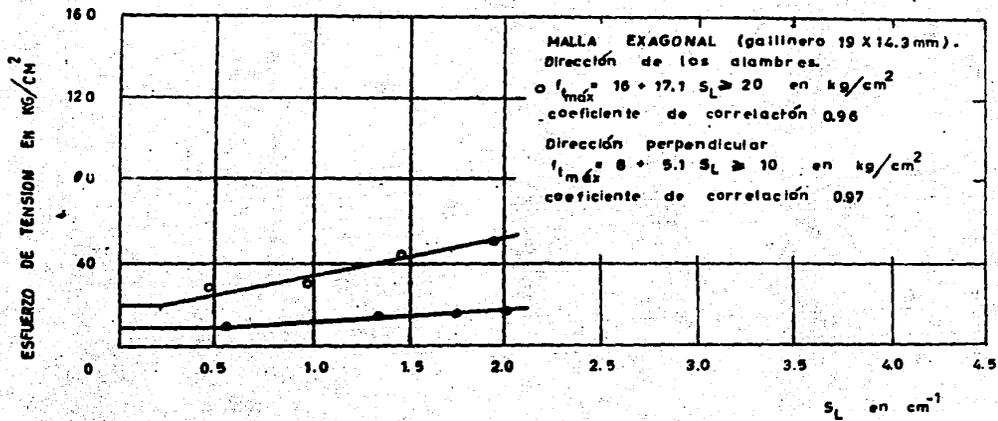
Y en dirección perpendicular a la de los alambres:

$$F_t \text{ máx} = 8 + 5.1 S_L \geq 10 \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_t \text{ máx} = 13 V_R^{0.43} \geq 10 \text{ en Kg/cm}^2$$

Si se tomarán como esfuerzos permisibles de diseño - los correspondientes a un ancho de grieta de 0.05 mm para las mallas de metal desplegado, se tendrían factores de - seguridad que variarían de 2 a 1.4, para valores de la su superficie específica comprendidos entre 1 y 4 cm⁻¹ respectivamente.

Para las mallas de gallinero, tomar como esfuerzo - permisibles de diseño el correspondiente a un agrietamiento de 0.05 mm resultaría un tanto arriesgado ya que la relación de esfuerzo máximo al esfuerzo correspondiente a - este ancho de grieta varía de 1.20 a 1.26 para superficies específicas de 0.5 a 2 cm⁻¹ respectivamente, para las -



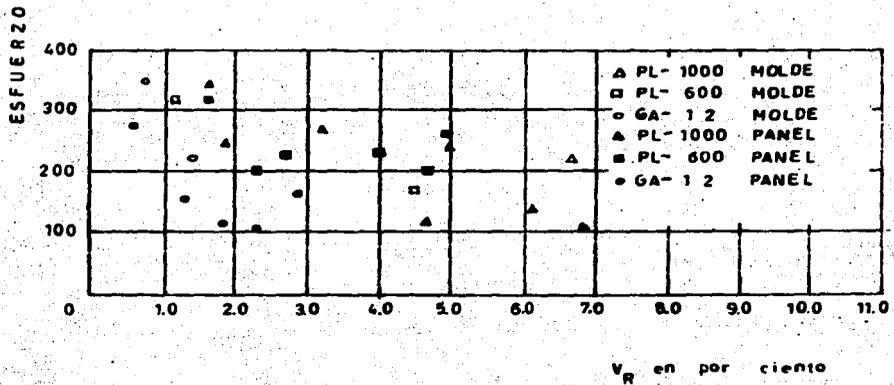
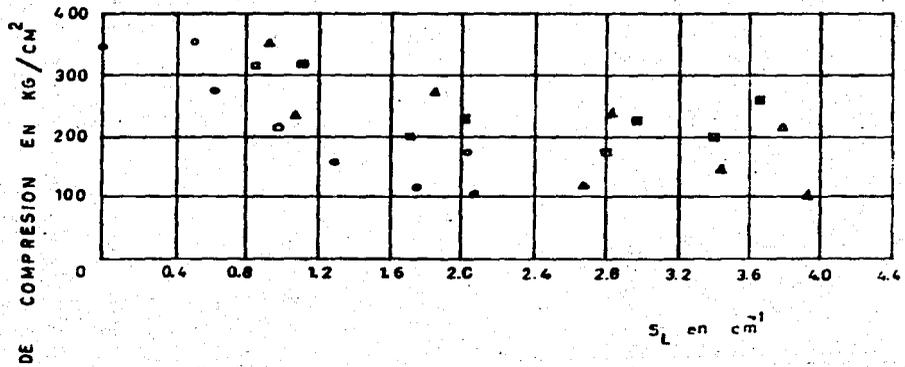
ESFUERZO DE TENSION MAXIMO.

pruebas efectuadas en la dirección de los alambres, y de 1.27 a 1.39 para la dirección perpendicular a los mismos. Para estos casos convendría tomar como esfuerzos permisibles de diseño, valores menores que los correspondientes al agrietamiento de 0.05 mm y que den un factor de seguridad constante.

Todas las ecuaciones establecidas para relacionar el comportamiento a tensión con superficie específica, S_L , y con el volumen de refuerzo, V_R , fueron obtenidas por mínimos cuadrados y coeficientes de correlación correspondientes aparecen en las gráficas respectivas.

B) Comportamiento a la compresión.- El comportamiento del FERROCEMENTO, a la compresión a diferencia de los estudios realizados en tensión, flexión e impacto, no se relacionaron con el agrietamiento ya que cuando éste se presenta la pieza ha alcanzado ya su capacidad de carga, presentandose la -- falla.

Al analizar los resultados de los ensayos se encontró una tendencia bien definida: La resistencia a compresión del FERROCEMENTO, disminuye a medida que aumenta la cantidad de refuerzo. Siendo pequeña esta disminución para valores de superficie específica S_L inferiores a 1 cm^{-1} , decrece rápidamente para valores de S_L comprendidos entre 1 y 2 cm^{-1} y existe la tendencia a conservarse constante a partir de este valor.



ESFUERZO DE COMPRESION. TODOS LOS ESPECIMENES.

Difiere esta tendencia de un tipo de malla a otro, - en la malla de metal desplegado la rapidez con que disminuye la resistencia es menor que la que se presenta en las mallas exagonales (gallinero). Lo anterior se puede explicar si se considera que las mallas de metal desplegado, siendo más rígidas trabajan más eficientemente que las exagonales (gallinero), presentándose la falla en forma laminar ocasionada muy posiblemente por la tendencia a pandearse el refuerzo.

No influye el método de colado para las mallas exagonales (gallinero), mientras que las de metal desplegado no presentan una tendencia definida a éste hecho.

Se hace esta observación ya que se pretende una auto construcción de las techumbres.

La resistencia a compresión del FERROCEMENTO, para un mortero del orden de 500 Kg/cm^2 (en cubos de $5 \times 5 \text{ cm}$) se puede calcular en función de la superficie específica y del volumen de refuerzo con las siguientes expresiones:

Para las mallas del metal desplegado de 1000 gr/m^2 .

$$F_c = 384 - 91.5 S_L + 7.5 S_L^2 < 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 383 - 51.5 V_r + 2 V_r^2 < 350 \text{ Kg/cm}^2$$

Para valores de S_L de hasta 4 cm^{-1} y de V_r de hasta 8% .

Para las mallas de metal desplegado de 600 gr/m^2

$$F_c = 479.7 - 220.6 S_L + 42 S_L^2 \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 478 - 161.8 V_R + 22.9 V_R^2 \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$$

Para valores de S_L de hasta 3.8 cm^{-1} y de V_R de - hasta 5 %.

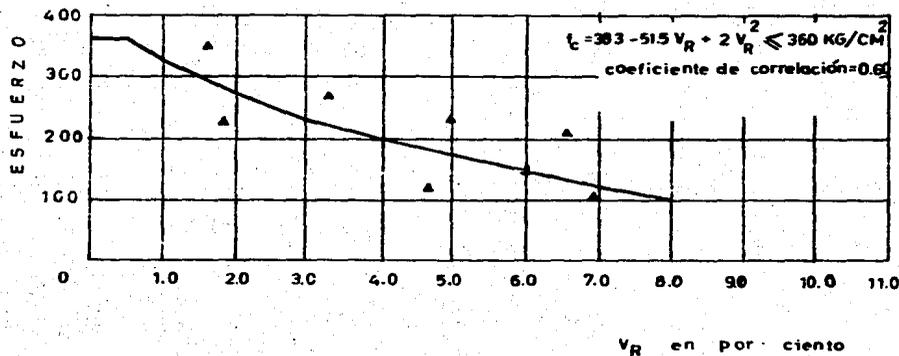
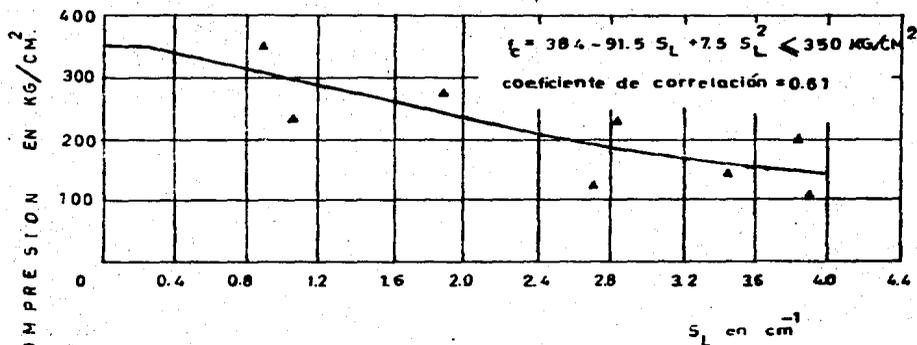
Para las mallas exagonales (gallinero de $14.3 \times 19 \text{ mm}$), las ecuaciones mínima cuadrada, para valores de S_L de hasta 2.2 cm^{-1} y de V_R hasta de 4 % , son:

$$F_c = 515 - 417 S_L + 113 S_L^2 \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$$

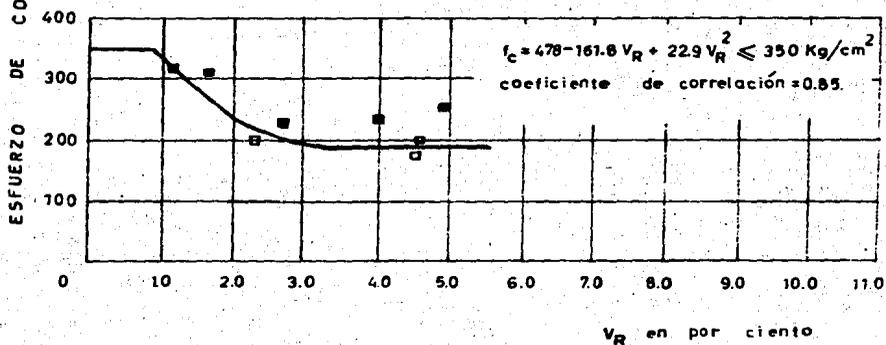
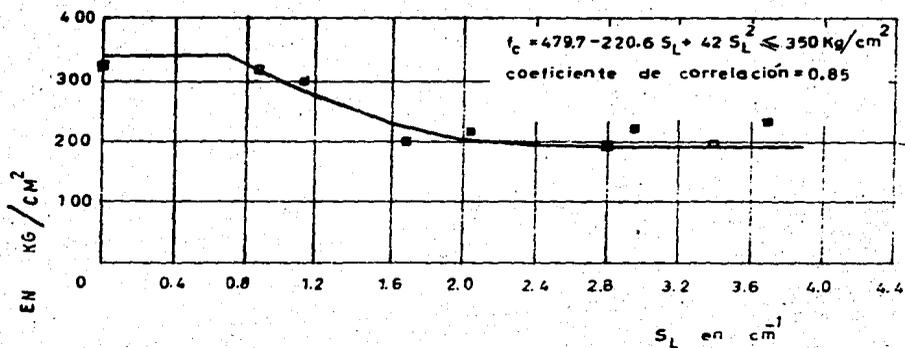
$$F_c = 459 - 317 V_R + 75 V_R^2 \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$$

La falla del FERROCEMENTO, se presenta para deformaciones unitarias a compresión de 0.0015, teniendouna superficie específica mayor a 1 cm^{-1} , en tanto que el mortero alcanza deformaciones unitarias a la falla de 0.0026.

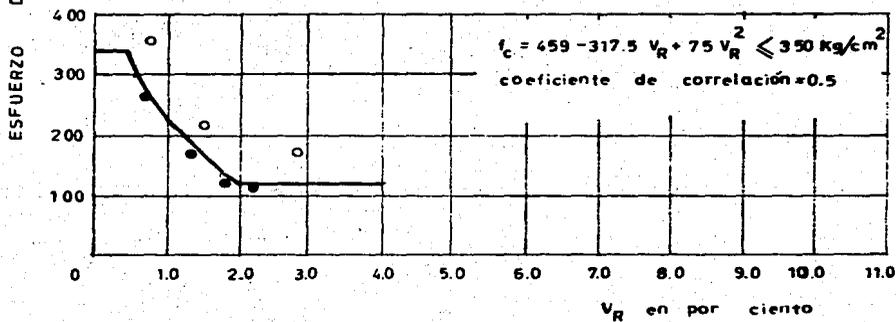
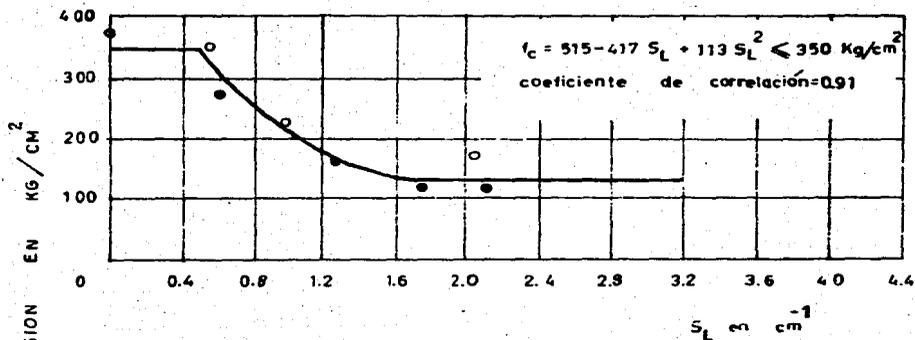
- C) Comportamiento a la flexión.- En el comportamiento del FERROCEMENTO, a la flexión tiene una influencia notoria la colocación del mortero en la aparición de la primera grieta ya que para los paneles la colocación del refuerzo coincidió con la cara de tensión, no sucediendo ésto con los especímenes de molde por lo que éstos (los especímenes de los paneles) alcanzaron un esfuerzo al agrietamiento mayor a igualdad de refuerzo e independientemente del tipo de la malla empleada; no así en el comportamiento posterior al agrietamiento



ESFUERZO DE COMPRESION. METAL DESPLIEGADO 1000 gr/m.



ESFUERZO DE COMPRESION. METAL DESPLEGADO 600 gr/m.



ESFUERZO DE COMPRESION. MALLA EXAGONAL (gallinero de 19)

to en donde los esfuerzos por flexión se incrementan a medida que aumenta la cantidad de refuerzo, observandose que los esfuerzos alcanzados son independientes del método de colado.

Para la malla exagonal (gallinero), se observa que los esfuerzos en la sección transversal son menores en los paneles que en los especímenes de moldes ensayados en la dirección de los alambres, en donde el esfuerzo de agrietamiento en el sentido transversal permanece aproximadamente constante e independiente de la cantidad de refuerzo que se tenga. En éstos especímenes puede decirse que a niveles de esfuerzo relativamente bajos, ésta malla en dirección transversal no trabaja.

Lo anteriormente señalado corresponde a diferentes niveles de esfuerzos y deformaciones inferiores a los de falla. Para relacionar el valor de los esfuerzos alcanzados para estas deflexiones con la cantidad de acero de refuerzo (S_L ó V_R), se obtuvo por mínimos cuadrados las ecuaciones siguientes:

Para una deflexión de 0.1 cm.

$$F_P \text{ 0.1} = 32 + 4.7 S_L \text{ en } Kg/cm^2$$

$$F_P \text{ 0.1} = 34 + 2.5 V_R \text{ en } Kg/cm^2$$

Para una deflexión de 0.2 cm.

$$F_P \text{ 0.2} = 36.9 + 12.1 S_L \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_P \text{ 0.2} = 43.7 + 6 V_r \text{ en Kg/cm}^2$$

Los valores de S_L serán dados en cm^{-1} , y los de V_r en por ciento.

Para calcular los esfuerzos máximos por flexión de be tenerse en cuenta que a medida que se aumenta el ace ro de refuerzo en compresión disminuye la capacidad de la pieza a dicho tipo de esfuerzos, en tanto que para la parte que se encuentra a tensión, sucede lo contrario. La mayor ó menor rigidez de la malla indudablemente será un factor decisivo en la distribución de la ma gna en la sección, cuando la compactación se hace presio nando contra ellas.

No obstante lo anterior y con objeto de tener una expresión única que defina al comportamiento de las pie zas de FERROCEMENTO, a flexión reforzadas con cualquier tipo de malla, se han mezclado todos los resultados y - encontrado por mínimos cuadrados expresiones que rela- cionen esfuerzos máximos con S_L y V_r . Dichas expre- siones se presentan a continuación:

$$F_P \text{ máx} = 19.5 + 92.6 S_L \text{ en Kg/cm}^2$$

$$F_P \text{ máx} = 64.2 + 47.6 V_r \text{ en Kg/cm}^2$$

Los valores de S_L y V_r deberán darse en cm^{-1} y por ciento respectivamente.

El comportamiento al esfuerzo máximo, de la malla hexagonal (gallinero) en dirección transversal, indica la poca capacidad que tiene la malla en este sentido.

Los valores representados por las ecuaciones antes señaladas, corresponden a valores medios (esfuerzos máximos por flexión) por lo que si se utilizan tales valores como de diseño la probabilidad de falla sería del 50 % . Como se dijo anteriormente un criterio razonable para determinar los esfuerzos de diseño sería establecer valores para un nivel de confianza determinado, que puede ser del orden del 90 % , pero para proponer expresiones con este criterio probabilístico se requerirá de un número de ensayos mucho mayor de los que a la fecha se tienen.

Los Módulos de elasticidad del FERROCEMENTO, no -- presentan correlación definida con la cantidad de acero de refuerzo. Por lo que los valores propuestos por BEZU KLADOV, se pueden utilizar conservadoramente para fines de diseño.

Para morteros con resistencia superiores a 400 Kg/cm² (medida en cubos) y superficie específica superiores a 2 cm⁻¹ se recomienda utilizar los siguientes valores:

$$E_{\text{compresión}} = 200\ 000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{\text{tensión}} = 50\ 000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{\text{flexión}} = 100\ 000 \text{ Kg/cm}^2$$

D) Comportamiento al impacto.- De una manera general se puede decir que las piezas coladas en molde requieren de una mayor energía para producir un ancho de grieta cualquiera que las piezas obtenidas en paneles. Siendo la única variable, el método de colado, se puede deducir que esta diferencia se debe por una parte a la energía de compactación aplicada ya que en el caso de moldes la compactación se hace por vibrado exterior, mientras que en los paneles se hace en forma manual. Por otra parte la diferencia en la colocación del mortero motivó que en los moldes existiera una mejor distribución de la malla de refuerzo en tanto que en los paneles, las mallas se concentraron en la parte inferior del mismo.

De las mallas estudiadas, la exagonal (gallinero de 19 x 14.3 mm) absorben aproximadamente un 50 %, más de energía que las de metal desplegado, para el mismo nivel de agrietamiento y para cantidades similares de acero de refuerzo. Sin embargo la energía requerida para un ancho de grieta determinado en los diferentes tipos de malla, aumenta a medida que se incrementa la cantidad de refuerzo hasta alcanzar valores óptimos, a partir de los cuales la energía requerida se mantiene constante e inclusive disminuye; siendo las cantidades óptimas de refuerzo las que indican a continuación:

$$\text{METAL DESPLEGADO } S_L = 2.7 \text{ cm}^{-1}$$

MALLA EXAGONAL $S_L = 1 \text{ cm}^{-1}$
 (gallinero de 19 x 14.3 mm)

E) Agrietamiento.- Por todo lo anteriormente mencionado podemos deducir que el agrietamiento es el punto de partida para relacionar los diferentes esfuerzos del FERROCEMENTO, ya que por su reducido espesor, éste es un factor determinante para garantizar su buen comportamiento; así podemos observar que el nivel fijado para considerar la falla del FERROCEMENTO, a tensión fué para un ancho de grieta de 2.5 mm, considerando así que para una grieta de ancho de 0.02 mm el material es impermeable, aún BEZUKLADOV, considera que una grieta de 0.05 mm hace al FERROCEMENTO, practicamente impermeable ya que aunque permite pasar agua estas grietas por si solas se sellan.

Así se tiene que los esfuerzos en que aparece el agrietamiento inicial es proporcional a la superficie específica del refuerzo (S_L), siendo que para una superficie específica mayor a 1 cm^{-1} , se producen grietas de 0.02 a 0.05 mm, para esfuerzos mayores a 25 Kg/cm^2 en mallas de metal desplegado, mientras que en las mallas exagonales (gallinero) son mayores aun las grietas para una superficie específica mayor a 0.5 cm^{-1} . Por lo que podemos decir que el agrietamiento se encuentra intimamente ligado a la colocación del mortero como a la distribución de las mallas de refuerzo en los elementos de FERROCEMENTO.

Como se puede observar se tendrá un mejor control pa

ra evitar el agrietamiento en paneles y con metal desplegado, que en moldes y utilizando como refuerzo malla exagonal (tela de gallinero).

F) Permeabilidad.- La permeabilidad del FERROCE--
MENTO, depende en gran parte de las caracterís-
ticas del mortero, de la compactación lograda
en la colocación del mismo y el curado aplica-
do, no influyendo en el comportamiento ante es-
te efecto el tipo de refuerzo.

A pesar del reducido espesor de los elementos de FERRO-
CEMENTO, estos presentan un bajo grado de permeabilidad, ya
que para elementos con espesor de 1 cm que se expongan al --
contacte con agua en un intervalo de tiempo más o menos gran-
de presentan al otro lado de la cara opuesta solo humedad --
sin que se formen gotas en esta superficie y mucho menos se
establecerá flujo de agua, teniendo un mejor comportamiento
los elementos con un mayor espesor.

El comportamiento del FERROCEMENTO, después de estar ex-
puesto a humedecimiento y secado resulta practicamente el mis-
mo ó sea no afecta este hecho su permeabilidad, aunque se no-
ta en algunos casos el sello de conductos capilares, posible-
mente por la acumulación de sales.

G) Resistencia al fuego. La resistencia que pre-
senta el FERROCEMENTO, con respecto al fuego --
es semejante a la del concreto ordinario ya --
que la temperatura que alcanza en la cara fría
es aproximadamente 35° C independiente de la -

cantidad de energía calorífica aplicada es decir el exceso de calor recibido lo transmite - al ambiente, sin embargo el tiempo transcurrido para alcanzar la temperatura de 35° C en la cara fría varió de acuerdo con el espesor de - la placa aproximadamente de 3 a 5 horas. Por - otra parte el comportamiento en las placas de menor espesor la temperatura se incrementa, a medida que aumenta la acción calorífica, estabilizándose las temperaturas en las superficies de las placas casi simultáneamente con la - estabilización de la temperatura de la fuente calorífica; en las placas de mayor espesor la temperatura en las superficies de las placas - se alcanzó hasta después de varias horas de haberse estabilizado la temperatura de la fuente calorífica.

El gradiente de temperatura entre las superficies de las placas varia de 5 a 19° C para las de menor y mayor espesor respectivamente (de 1 a 5 cm). Si comparamos el valor promedio de la conductividad (K), del FERROCEMENTO, con el de otros materiales cuya eficiencia como aislantes térmicos es conocido, se podrá tener una idea de las características del material. A continuación se presentan algunos resultados de intereses:

CONDUCTIVIDAD (K)	KG-CAL.F/H x K ² x °C	BTU-IN/HxFT ² x °F
CONCRETO ORDINARIO	1.50	12.0
FERROCEMENTO	0.82	6.5
CONCRETO PUMITICO	0.25	2.0
CONCRETO AEREADO	0.12	1.0

Como se puede observar el valor de la conductividad térmica del FERROCEMENTO, queda entre el del concreto ordinario y el del pumítico, asemejandose su comportamiento más al del primero. De donde se desprende que el efecto de la superficie en la transmisión del calor es más notoria en placas delgadas que en muros o losas de 10 cm. de espesor.

En cuanto a la dilatación que presenta el FERROCEMENTO, por efecto de temperatura, las deformaciones que alcancen en ambas caras de los elementos de FERROCEMENTO, tienen un valor promedio de $3 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$. Este valor es relativamente pequeño si se compara con el del concreto a humedad ambiente (60 % aproximadamente) que es del orden de $10 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ y con el del acero, aproximadamente $12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$, o sea la dilatación térmica del FERROCEMENTO, dependerá de los materiales empleados en su fabricación así como de la cantidad relativa con que estos intervienen. Así mismo un factor determinante en los valores alcanzados es la humedad, obteniendose valores máximos a humedades del orden del 60 % y mínimos, -- del orden del 50 % de los máximos, en condiciones saturadas ó seca.

H) Facilidad de construcción.-- Por los materiales a utilizarse en la fabricación de elementos de FERROCEMENTO, así como la existencia de éstos en el mercado podemos decir que en sí este hecho representa ya una facilidad para fabricar dichos elementos. ahora bien para la fabricación de estos sin que se disponga de instalaciones y personal adecuado, es posible controlar la calidad de los morteros empleados medi-

ante la prueba de revenimiento, medida esta en un cono de tamaño reducido (10 cm de diámetro en la base, 5 cm de diámetro en la parte superior y de 15 cm de altura); siendo el revenimiento recomendado de 2.5 cm; para el tipo de malla a emplear es deseable hacerle pruebas -- preliminares para conocer el orden de la magnitud de su resistencia a tensión ya que esta varía de un fabricante a otro aunque como se ha visto los valores alcanzados trabajando la malla sola es del orden del 50 % de la resistencia obtenida cuando se encuentra ahogada en el mortero. Siendo así de gran utilidad y de facilidad de construcción utilizar los proporcionamientos y los tipos de mallas mencionados con sus características de cada uno de ellos al -- inicio de este capítulo.

- I) Costo.- Obtendremos el costo de un metro cuadrado de FERROCEMENTO, que tendrá un espesor -- medio de 2 centímetros y que será elaborado -- con un mortero que tendrá una relación de arena/cemento = 1.75 y llevará como malla de refuerzo la exagonal (gallinero de 14.3 x 19 mm) de calibre 22; en dos capas, no se considera -- la mano de obra ya que esta para el trabajo en cuestión no tiene mayor relevancia:

MATERIAL	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE.
ARENA SANTA FE	0.02 M ³	\$ 7,416.66	\$ 148.33
CEMENTO NORMAL	26.32 Kg	\$ 60.75	\$ 1598.95
TELA DE GALLINERO	1.50 E.L.	\$ 782.00	\$ 1173.00
	Importe Total.		\$ 2920.28

Costo al 24 de febrero de 1987.

Como se puede observar casi ningun material con fines de construcción suele ser tan económico en la actualidad como - lo es el FERROCEMENTO, ya que el costo tan sólo de cualquier lámina, representa casi el importe de éste material que será sin lugar a duda de mayor resistencia, seguridad y durabilidad que éstas.

III.- TECHUMBRES DE FERROCEMENTO COLADAS IN-SITU.

Pensando en brindar una ayuda más eficaz a las clases - sociales marginadas, en donde ya existen construcciones con techos de lámina de cartón, de asbesto-cemento ó lámina galvanizada y en obra nueva donde los recursos económicos sean limitados para colocar una losa plana; se realizaron estudios en la U.N.A.M. y en la U.A.M., donde además de existir la ay to-construcción de las techumbres éstas fueran en el lugar mismo donde se requerían, sin necesidad de utilizar algún mol de para fabricarlas y que fuesen económicas y sencillas de - elaborar. Para ello fué necesario partir de los resultados - obtenidos (los cuales ya se mencionan en el capítulo anterior) y aplicarlos a éstas, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- a).- Especificaciones.- Se mencionara primeramente la forma en que se obtuvo ó se pueden calcular algunos datos y a continuación se dan los datos prácticos que deberán emplearse ya directamente para la construcción de la techumbre.

Los elementos necesarios encontrados para la elaboración de las techumbres de FERROCEMENTO, coladas IN-SITU, fueron - las siguientes:

- 1.- Forma.- Dadas las características y propiedades del FERROCEMENTO, las formas que deberán tener las techumbres co rresponderán a superficies de doble curvatura.

De entre éstas superficies las más recomendadas serían:

una con secciones de arco de círculo, otra con secciones elípticas y la tercera siguiendo una ley senoidal.

Las razones principales que se tomaron en cuenta para recomendar las anteriores fueron; facilidad de trazo en el campo y pendientes en los bordes.

Las superficies con secciones de arco de círculo y elípticas son muy fáciles de trazar con ayuda de un hilo ya sea conociendo el radio respectivo o los focos y las distancias de los focos respectivamente. Las senoidales se trazan con sus coordenadas, previamente calculadas de la ecuación:

$$Z = A \cos \left(\frac{\pi X}{2 L_1} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi Y}{2 L_2} \right)$$

Si también se quisieran trazar las superficies elípticas por coordenadas, la ecuación correspondiente es:

$$\frac{Z^2}{A} = \left(1 - \frac{X^2}{L_1^2} \right) \cdot \left(1 - \frac{Y^2}{L_2^2} \right)$$

En donde X, Y, Z, son las coordenadas de un punto cualquiera de la superficie, y L_1 , L_2 , A, son los valores máximos de dichas coordenadas.

Matemáticamente no existe la superficie con arcos de círculo, ya que hay una variación del orden 10^{-2} mm. en el cruce de dos arcos de círculo ortogonales. Esto no impide en absoluto su trazo en el campo.

En cuanto a lo que se refiere a pendientes en el borde, las superficies elípticas y senoidales tienen pendientes muy grandes y muy pequeñas respectivamente; las de secciones de arco de círculo representan un caso intermedio.

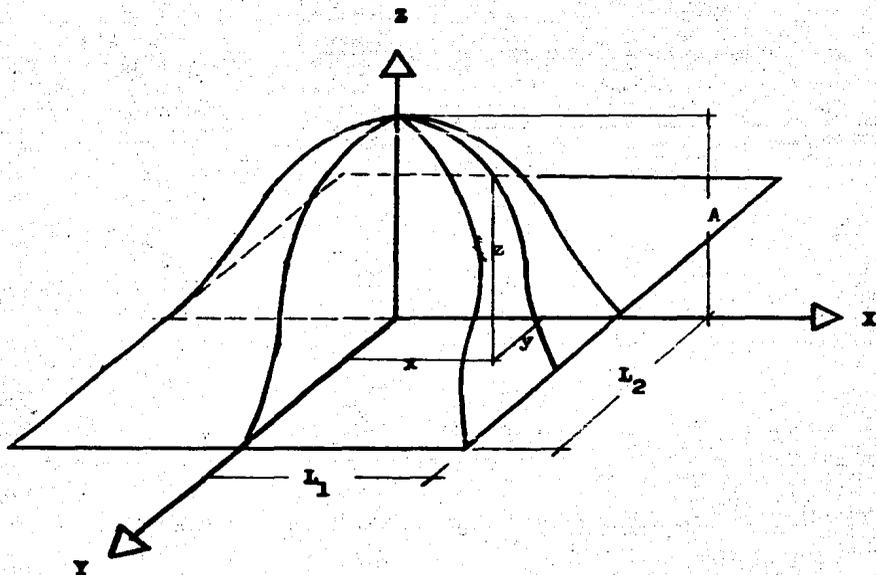
Se observó que el comportamiento de los domos sometidos a carga concentrada, es mejor mientras más curvatura haya - en el punto de carga. Así, el comportamiento de un domo con sección senoidal es mejor que uno de sección elíptica, cuando la carga se aplica en el centro de la pieza. Los de sección de arcos de círculo con curvaturas intermedias entre los domos mencionados, tienen también una resistencia intermedia.

El comportamiento de los domos sometidos a carga uniformemente repartida, es mejor mientras mayor sea la pendiente que tengan en los bordes. Así, la resistencia de un domo con sección elíptica es mayor que uno con sección senoidal. Los de sección de arco de círculo, cuyas pendientes en los bordes corresponden a valores intermedios a los otros dos tipos de domos mencionados, tienen resistencias intermedias.

Por lo anteriormente expuesto podemos decir que para los fines que perseguimos, podremos dar una curvatura que deseemos pero respetando un peralte mínimo al centro de 40 centímetros para un claro de 3 metros, 50 centímetros para 4 metros de claro, 70 centímetros para 5 metros y 80 centímetros para 6 metros; esta curvatura podrá no seguir estrictamente una ley determinada aunque se recomienda que la forma que tome sea intermedia a la senoidal y a la elíptica.

2).- Armado.- Se pudo comprobar, que el armado de varilla en el interior del domo es innecesario, debido a que aunque su influencia en la resistencia era importante, las cargas que debería soportar el domo, eran mucho menores que la capacidad de carga lograda, si se ponían únicamente dos mallas metálicas y porque incrementaba en forma significativa el costo de la techumbre.

Se comprobó que dos capas de tela de gallinero, colocadas en una dirección perpendicular una de la otra y dos alam



COORDENADAS DE LOS DOMOS.

brones a lo largo de los bordes, constituyen un armado suficiente para cualquier tipo de domo, ya que se obtuvieron resistencias de ruptura: mínima de 762 Kg. y máxima de 2675 Kg. Estas resistencias pueden incrementarse, poniendo refuerzo a dicional entre ambas mallas.

Se observó que la falla en domos armados con metal desplegado fué de tipo frágil. Por el contrario, la falla en domos con malla de tela de gallinero fué de tipo dúctil.

El comportamiento de los domos sometidos a carga uniformemente repartida, es mejor cuando se utiliza la tela de gallinero que con metal desplegado ya que la falla sigue siendo de tipo dúctil mientras, que la de metal desplegado es de tipo frágil.

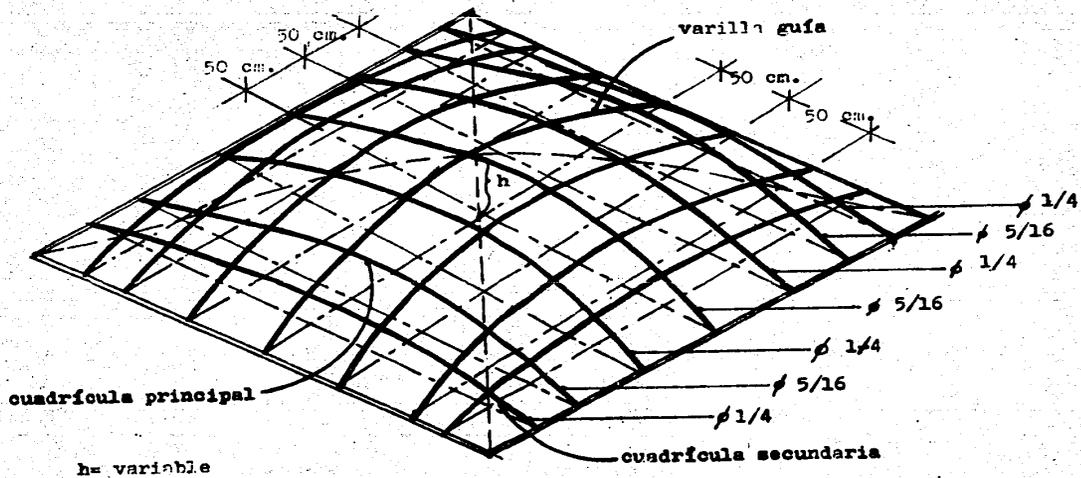
Por lo anteriormente dicho, para la construcción de los domos será necesario:

Una cuadrícula principal con doble curvatura de varilla con $F_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$ y diámetro de $5/16''$ de un metro de lado para claros de hasta 4 metros y varilla de $3/8''$ de diámetro para claros de hasta 6 metros (varilla normal que se encuentra en el mercado en los diámetros indicados).

Una cuadrícula secundaria igualmente con doble curvatura de alambres de $1/4''$ de diámetro de un metro de lado, que se intercalará a la cuadrícula primaria para tener así una cuadrícula general de 50 centímetros de lado; las cuales deberán ser amarradas entre sí y presentar una curvatura definida.

Deberá usarse una malla hexagonal (tela de gallinero -- chica) de calibre 22, en dos capas, una capa por encima de la cuadrícula general y otra capa normal a la primera por abajo de esta cuadrícula y deberán estar bien amarradas tanto a la cuadrícula como entre sí; debiendo tener entre ellas un

ARMADO DE UN DOMO DE FERROCEMENTO (cuadrículas primaria y secundaria)



traslape de 5 centímetros, estando estas lo mas restirado posible evitando abombamientos.

El remate del armado en los extremos se hara ya sea formando una camaleta, un volado ó dejando las puntas necesarias para amarrar el armado de una pieza contigua, dependiendo de las necesidades especificas en cada caso.

3).- Colado y Curado.- La mezcla a utilizarse será seca y rica, preparada con una porción de cemento puzolánico ó cemento normal (se recomienda el puzolánico por proporcionar una mezcla pastosa) y una porción y media de arena que pase por la malla No. 8 aunque podrá usarse una arena que pase por la malla No. 4 (arena cernida con un arnero hecho con tela para mosquitero) y con una relación de agua-cemento de 0.55 a 0.60 deberá cubrir la mezcla al armado colocado siendo éste el mínimo requerido normalmente de 1 a 2 centímetros de espesor, teniendo presente que entre menor espesor se tenga en la cubierta mayor será la calidad del domo.

Deberá proporcionarse un curado adecuado a la techumbre para mejorar su eficacia; dada la gran superficie expuesta de las estructuras de FERROCEMENTO, es descable efectuar un curado húmedo por 7 días, después de los cuales y estando todavía húmeda la estructura, emplear una membrana de curado eficiente por ambas caras de la superficie expuesta.

b).- Métodos de construcción.- Para la elaboración de la techumbre de FERROCEMENTO, se compone de dos fases, la primera que consiste en la preparación del armado, que tiene una secuencia lógica a seguir y la segunda que es la preparación y colocación de la mezcla en el refuerzo y que tiene dos formas a seguir.

La primera fase consiste en la preparación del armado se realiza de la siguiente manera:

1.- Una vez que se tienen cortadas las varillas, alambros y tela de gallinero a la longitud requerida (ver tabla) se efectúa la colocación de las varillas principales (cuadrícula primaria) en un sentido partiendo del centro hacia los extremos con la separación de un metro, cuidando de la curvatura de éstas y de su anclaje a la cadena de refuerzo de los muros perimetrales ó a las trabes sea de lo mejor, ya que de este anclaje depende en parte el comportamiento de la techumbre, prosiguiendo con la colocación de las varillas perpendiculares a las ya colocadas teniendo cuidado con lo ya mencionado.

2.- En seguida se coloca la cuadrícula secundaria (alambre) siguiendo las indicaciones ya mencionadas anteriormente; cabe hacer notar que la colocación del alambre será precisamente a la mitad del claro entre las varillas primarias para producir con ésto una cuadrícula general de 50 centímetros por lado.

3.- A continuación se coloca la tela de gallinero por la parte superior de la cuadrícula y partiendo igualmente -- del centro hacia los extremos del mismo, amarrando esta tela con la cuadrícula con alambre galvanizado de calibre 22, procurando principalmente que esta quede bien restirada y sujeta para que no se produzcan abombamientos. Una vez hecho esto, se coloca la capa de tela de gallinero que va por la parte inferior de la cuadrícula amarrando igualmente esta cuadrícula y a la capa superior ya antes colocada, cuidando igualmente que quede bien restirada y que no existan abombamientos utilizando para esto el mismo alambre de la malla y un amarrador; para ambas capas es muy importante que exista un traslape mínimo de 5 centímetros.

En la segunda fase, una vez elaborada la mezcla para el

colado de acuerdo a las especificaciones ya mencionadas y - procurando que la cantidad a prepararse sea la que se va a - utilizar en ese día, indudablemente que la cantidad a prepara- rse dependerá del número de personas que ayudaran al cola- do como de los claros del cuarto por techar, bastando para - esta operación con dos personas.

La colocación de la mezcla se podrá realizar de dos for- mas; la primera que consiste en que un obrero subido sobre - uno de los apoyos perimetrales, distribuya la mezcla con la mano o con la ayuda de una cuchara de albañil sobre la tela de gallinero hasta donde su mano alcance (de 1.20 a 1.50 me- tros) formando un anillo perimetral. Simultaneamente el otro obrero, dentro del cuarto por techar detiene el mortero, que aplicado desde la parte exterior, para que no caiga, con la ayuda de una talecha ó de una llana metálica. Una vez termina da esta operación se da el acabado requerido tanto por la par- te interior como por la parte exterior.

La segunda forma de realizar el colado consiste en es- barrar la mezcla por la parte inferior hasta 1.20 metros ó - 1.50 metros de los muros, y aproximadamente dos horas después o sea cuando ya la mezcla no se desprende facilmente de la - malla, se da el acabado final tanto por arriba como por aba- jo.

En caso de que el claro sea mayor de 3 metros se queda- rá la parte central sin colar, y se completará esta después de 72 horas, en que un obrero se puede subir sobre el colado perimetral previo para realizar el mismo procedimiento descri- to en el parrafo anterior.

Es aconsejable que en todos los casos, se pongan algu- nos puntales con el objeto de evitar deformaciones provoca- das por el propio peso del mortero en el período anterior -

al fraguado y se garantice la curvatura del cascaron en todos sus puntos.

C).- Comportamiento.- El comportamiento que presentan los cascarones de FERROCEMENTO, ante las diferentes situaciones a que se someterá es el siguiente:

1.- Comportamiento bajo carga concentrada.- El comportamiento de los cascarones de FERROCEMENTO, sometidos a diferentes tipos de carga concentrada, como se vera disminuye su capacidad de carga a medida que aumenta el claro pudiendose observar en todos los casos que el colapso se presenta a través de una grieta de falla circular de un metro de diámetro, para su comportamiento ante carga concentrada al centro del claro.

Las cargas de ruptura mínima que se obtuvieron fueron:

Dimensiones del cascaron en metros	Capacidad de carga en Ton.
5.00 X 5.00	7.1
6.00 X 6.00	4.7

Pudiendo considerar que el comportamiento de los cascarones ante carga concentrada excéntrica es igual que cuando la carga se aplica al centro.

2.- Comportamiento bajo carga uniformemente repartida.- El comportamiento del cascaron ante éste tipo de carga origina que en los apoyos de los cascarones aparezca un giro, debido éste al coceo que produce el cascarón por efecto de la carga aplicada; o sea los cascarones fallaron por el giro de las cadenas perimetrales de los muros, lo cual indica que ante este tipo de carga es muy importante la rigidez del apoyo del cascaron a diferencia de la carga concentrada en que este concepto no era muy importante.

La carga a la que fallaron los cascarones por efecto del coceo que se produce fueron las siguientes:

Dimensiones de los domos (en metros)	Capacidad de Carga (Ton.)	Peralte al Centro (cm.)
4.00 X 4.00	6.7	55
5.00 X 5.00	5.9	70
6.00 X 6.00	4.7	85

Puede suponerse que al incrementar la rigidez de los apoyos de los cascarones, la capacidad de carga de estos aumentara por el mejor comportamiento de éstos.

3.- Comportamiento bajo cargas de impacto.- Los cascarones de FERROCEMENTO, se comportan generalmente ante el impacto, en fallas locales en forma de cráter, con diámetros máximos de 80 centímetros y profundidades de hasta 9 centímetros para el impacto causado por un cilindro redondeado con un peso de 10.6 Kg.; observandose que casi nunca resulta afectada la tela de gallinero, aunque no así el mortero que resulta estrellarse al impacto; es posible reponer la tela de gallinero dañada y así mismo colocar nuevo mortero en sustitución del que resulto afectado por el impacto. Esto es posible, por lo que nos mostró el estudio del FERROCEMENTO, debido a que la malla exagonal (tela de gallinero 14.3 X 19 mm.) absorbe hasta un 50 % más de energía que las mallas de metal desplegado, para un mismo nivel de agrietamiento y una misma superficie específica S_L .

4.- Permeabilidad.- La permeabilidad de los cascarones de FERROCEMENTO, resulta ser prácticamente la misma que la encontrada en el análisis del FERROCEMENTO, como tal ó sea resulta ser un cascaron con un grado de permeabilidad satisfactorio, aunque influye en forma directa el espesor del cascaron, esto no disminuye sustancialmente el grado de permea-

bilidad; aún sin contar con un tratamiento especial. Los cambios bruscos de temperatura no afectan la permeabilidad de los cascarones así como tampoco interviene en este concepto el tipo de refuerzo empleado.

5.- Propiedades Térmicas.- Estas propiedades en los cascarones de FERROCEMENTO, no son otra cosa mas que las propiedades que en sí presenta el FERROCEMENTO, como material ó sea presenta una conductividad térmica K, transmisión del calor y una deformación por temperatura semejantes a las del concreto ordinario; siendo más notorio el efecto de la superficie en la transmisión del calor en placas delgadas que en muros o losas de unos 10 centímetros de espesor.

Como se vió en el estudio del FERROCEMENTO, este se elabora con malla de refuerzo ahogada en mortero de características determinadas, pero para la elaboración de los cascarones era necesario (para evitar el uso de moldes) el empleo de una cuadrícula de varilla lo que mejora considerablemente sus propiedades térmicas.

d).- Costo.- Como las techumbres descritas se han pensado para los casos de auto-construcción exclusivamente, el costo de la mano de obra no se ha tomado en cuenta, ya que no representará una erogación para el dueño del producto terminado, por lo tanto, en el análisis del costo sólo se considerará el costo del material; aunque la consideración de ésta no incrementa en forma sustancial el costo de la misma tomando en cuenta que esta misma intervendrá en la elaboración de otra semejante.

El cálculo que se presenta a continuación se realizó para precios del mercado a menudeo en el Distrito Federal, para el mes de febrero de 1987, y para un domo de 4.15 mts. -- por lado (17.20 mts^2) colada IN-SITU.

Materiales	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe
varilla 5/16	13.5	Kg.	\$ 324.00	\$4374.00
alambren 1/4	7.0	Kg.	405.50	2835.00
alambre recocido	2.5	Kg.	539.00	1347.50
alambre galv.cal. 22	1.2	Kg.	1202.00	1442.40
cemento puzelana	300.00	Kg.	60.75	18225.00
arena azul	0.15	m ³ .	7416.66	1112.50
tela de gallinero	45.0	m.1	643.87	28974.15
Importe Total . .				\$58310.55

El precio unitario será:

$$P.U. = \$ 58310.55 \div 17.20 \text{ m}^2 = \$ 3390.15$$

$$\text{Precio Unitario} = \$ 3390.15$$

Como podrá verse este costo difiere del obtenido en el capítulo anterior ya que aquí se consideraron todos los conceptos que intervienen para la construcción del domo antes mencionado y el costo obtenido anteriormente ejemplifica solamente el costo por metro cuadrado de FERROCEMENTO, en condiciones de laboratorio.

Con fines comparativos diremos que si ésta misma habitación quisieramos techarla con láminas de asbesto-cemento, requeriríamos de 8 láminas acanaladas cuando menos siendo el costo de cada una de éstas de \$ 8 859.40, lo que nos daría un importe de \$ 70 875.20, siendo este como se ve superior al costo total del domo de FERROCEMENTO. (No incluye el costo de los soportes para recibir estas láminas).

Como todos sabemos las láminas de asbesto-cemento del tipo estructural por su mayor resistencia y "durabilidad", -

su costo es más elevado y para este caso su costo sería de un poco más del doble del costo del domo de FERROCEMENTO. Se ha considerado para esta comparación a las láminas de asbesto-cemento, por ser las que hasta cierto punto de vista más se asemejarían a los domos ya mencionados; no se consideró a las láminas acanaladas de cartón ya que aunque su costo original es casi semejante con el de los domos de FERROCEMENTO, este a mediano plazo requiere de mantenimiento y una casi pronta sustitución; tanto para las láminas de asbesto-cemento como para las láminas de cartón a largo plazo tan solo por el intemperismo requieren de una sustitución si no total si parcial de éstas cosa que con los domos de FERROCEMENTO no sucedería.

Para el cálculo de la longitud de las varillas se recurrió a las propiedades del círculo y como base el Manual Monterrey, páginas 444 y 445; en lo referente al cálculo de la longitud de un arco a partir de su cuerda, flecha y radio: c, b, R

Procedimiento:

a.- Se determina el valor b/c con el cual se entra a las tablas y se obtiene la longitud del arco para un radio unitario.

b.- Se determina el radio con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{4b^2 + c^2}{8b}$$

c.- Se multiplica por R, el valor obtenido en el inciso a, el resultado de esta operación es la longitud del arco -- considerado.

Para el cálculo de la tabla de flechas de diferentes ar

LONGITUD DE VARILLAS PARA DOMO CON FORMA DE ARCO DE CIRCULO.

b \ c	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.50	6.00
0.40	1.77	1.98	2.20	2.43	2.67	2.89	3.13	3.39	3.62	3.85	4.13	4.35	4.56	4.84	5.10	5.56	6.05
0.45	1.84	2.05	2.26	2.48	2.70	2.94	3.19	3.40	3.67	3.89	4.16	4.39	4.60	4.87	5.13	5.65	6.07
0.50	1.91	2.11	2.32	2.54	2.75	2.99	3.21	3.45	3.70	3.91	4.19	4.41	4.64	4.90	5.16	5.67	6.12
0.55	1.99	2.18	2.38	2.59	2.81	3.03	3.26	3.50	3.71	3.97	4.23	4.43	4.68	4.94	5.15	5.69	6.15
0.60	2.08	2.26	2.45	2.66	2.86	3.08	3.30	3.55	3.76	4.00	4.25	4.49	4.69	4.97	5.19	5.71	6.20
0.65	2.16	2.33	2.52	2.72	2.93	3.14	3.37	3.58	3.82	4.04	4.29	4.51	4.74	5.00	5.23	5.73	6.21
0.70	2.26	2.42	2.60	2.79	2.99	3.21	3.42	3.63	3.85	4.10	4.33	4.56	4.78	5.02	5.29	5.76	6.23
0.75	2.37	2.51	2.68	2.87	3.07	3.27	3.48	3.69	3.91	4.13	4.37	4.61	4.82	5.05	5.31	5.77	6.26
0.80	---	2.60	2.77	2.95	3.14	3.34	3.55	3.76	3.97	4.19	4.40	4.63	4.87	5.07	5.34	5.79	6.29

Conocida la cuerda C y la flecha b ; intersectar éstas dos valores y se tendrá la longitud de la varilla para esos valores a ésta habrá que sumarle: traslapes, ganchos para apoyos, volados, etc.

cos y a diferentes separaciones (de 50 cm. c/u de ellas) - partiendo del origen; teniendo como dato del proyecto la cuerda c , la flecha al centro del arco b , y que necesitamos a cada 50 cm. partiendo del centro de la cuerda hacia los extremos, el valor de la flecha para dar la curvatura del arco representada por X_n .

Procedimientos:

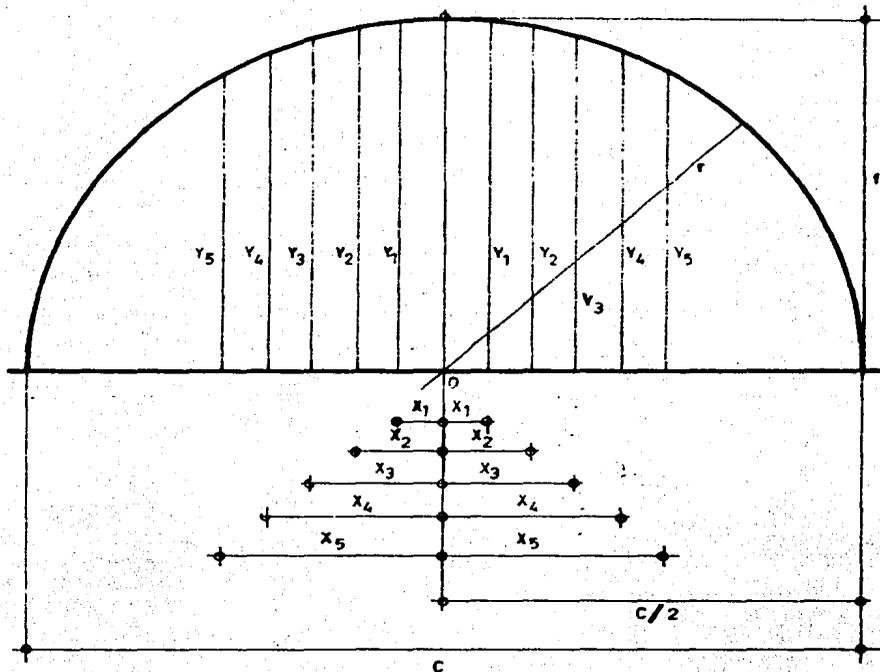
a.- Se calcula el radio R , con la fórmula antes mencionada para el cálculo de éste.

b.- Se calcula la flecha Y_n , para la separación X_n partiendo del centro de la cuerda con la fórmulas:

$$Y = b - R + \sqrt{R^2 - X_n^2}$$

Con la información que acabamos de presentar, se podrá calcular las longitudes de varilla, así como las flechas de arco de círculo a diferentes separaciones, según se tenga en el proyecto y que la información de las tablas aquí presentadas resulte insuficiente.

A continuación se presentan varias ilustraciones en donde aparece la forma en que deberán hacerse los anclajes de los domos a sus apoyos, para los diferentes casos que comúnmente se presentan en una obra; así mismo se presenta un esquema para cuando se desea fabricar dos domos contiguos, teniendo dos apoyos como muros de carga y dos con trabes, otra finalidad de éste esquema consiste en ejemplificar el procedimiento y el armado requerido para las trabes para cuando se quiere fabricar en lugar de un domo grande (por ejemplo de 6.00 X 6.00 mts.) se desee modular en domos más pequeños (por ejemplo cuatro de 3.00 X 3.00 mts.); también ilustramos casos específicos de domos con diferentes claros con sus armados requeridos.



x tiene los siguientes valores:

$$x_1 = 0.50 \text{ m.} ; \quad y_1 =$$

$$x_2 = 1.00 \text{ m.} ; \quad y_2 =$$

$$x_3 = 1.50 \text{ m.} ; \quad y_3 =$$

$$x_4 = 2.00 \text{ m.} ; \quad y_4 =$$

$$x_5 = 2.50 \text{ m.} ; \quad y_5 =$$

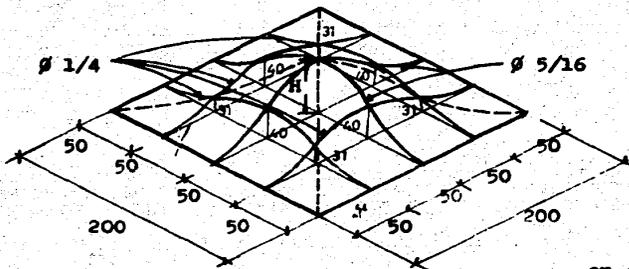
Estos valores se obtienen con la fórmula anterior o de la tabla para el cálculo de flechas.

son valores simétricos los de x y y partiendo del centro, r es el radio del círculo y O el origen de éste.

TABLA DE CALCULO DE FLECHAS PARA DOMOS CON FORMA DE ARCO DE CIRCULO TENIENDO COMO DATO LA CUERDA Y LA FLECHA AL CENTRO DEL ARCO.

$\frac{G}{f}$	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
0.40	$y_1=0.25$	$y_1=0.31$	$y_1=0.36$ $y_2=0.23$	$y_1=0.38$ $y_2=0.30$ $y_3=0.18$	$y_1=0.38$ $y_2=0.34$ $y_3=0.26$ $y_4=0.15$	$y_1=0.39$ $y_2=0.36$ $y_3=0.30$ $y_4=0.22$ $y_5=0.12$
0.50	$y_1=0.33$	$y_1=0.40$	$y_1=0.45$ $y_2=0.29$	$y_1=0.47$ $y_2=0.38$ $y_3=0.23$	$y_1=0.48$ $y_2=0.42$ $y_3=0.32$ $y_4=0.18$	$y_1=0.49$ $y_2=0.45$ $y_3=0.38$ $y_4=0.28$ $y_5=0.16$
0.60	$y_1=0.42$	$y_1=0.48$	$y_1=0.54$ $y_2=0.36$	$y_1=0.57$ $y_2=0.46$ $y_3=0.28$	$y_1=0.58$ $y_2=0.51$ $y_3=0.39$ $y_4=0.22$	$y_1=0.57$ $y_2=0.54$ $y_3=0.45$ $y_4=0.34$ $y_5=0.19$
0.70	$y_1=0.51$	$y_1=0.58$	$y_1=0.64$ $y_2=0.43$	$y_1=0.66$ $y_2=0.54$ $y_3=0.33$	$y_1=0.67$ $y_2=0.59$ $y_3=0.44$ $y_4=0.26$	$y_1=0.68$ $y_2=0.63$ $y_3=0.53$ $y_4=0.40$ $y_5=0.22$

$\frac{G}{f}$	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
0.80	$y_1 = \text{---}$	$y_1 = 0.67$	$y_1 = 0.73$ $y_2 = 0.50$	$y_1 = 0.76$ $y_2 = 0.62$ $y_3 = 0.38$	$y_1 = 0.77$ $y_2 = 0.68$ $y_3 = 0.53$ $y_4 = 0.31$	$y_1 = 0.78$ $y_2 = 0.72$ $y_3 = 0.61$ $y_4 = 0.46$ $y_5 = 0.26$

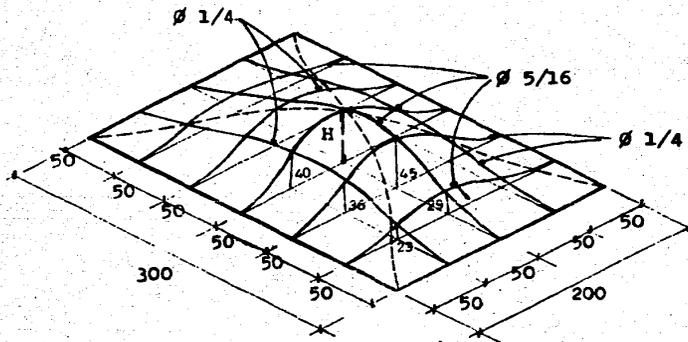


H = 50

en centímetros.

Domo de ferrocemento de 2.00 X 2.00 mts. por lado con flecha al centro - de 50 cm. armado con varilla de $\phi 5/16$ y $\phi 1/4$ y dos capas perpendiculares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.

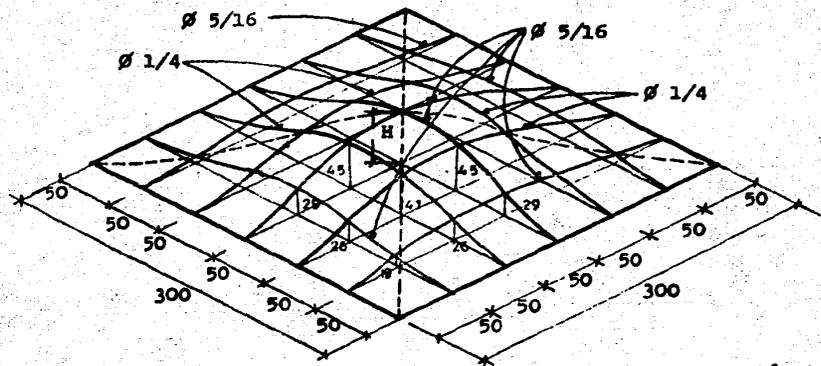
H=90



en centímetros.

Domo de ferrocemento de 2.00 X 3.00 mts. por lado con flecha al centro--
de 50 cm. armado con varilla de $\phi 5/16$ y $\phi 1/4$ y dos capas perpendiculares una
por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.

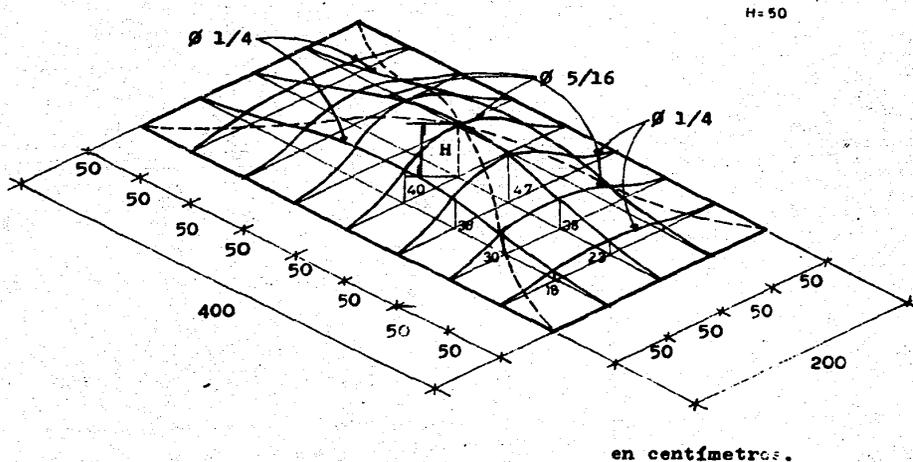
H=50



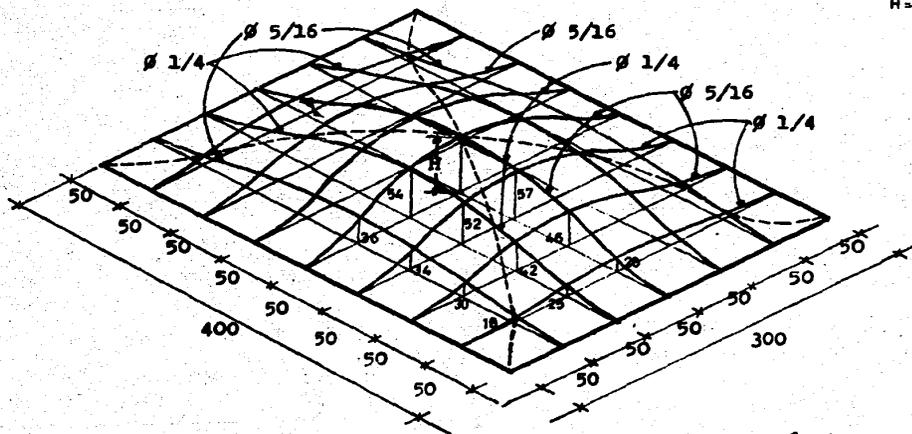
en centímetros.

**Domo de ferrocemento de 3.00 X 3.00 mts. por lado con flecha al centro--
de 50 cm. armado con varilla de $\phi 5/16$ y $\phi 1/4$ y dos capas perpendiculares --
una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.**

Domo de ferrocemento de 2.00 X 4.00 mts. por lado con flecha al centro de 50 cm. armado con varilla de \varnothing 5/16 y \varnothing 1/4 y dos capas perpendiculares --- una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.



Domo de ferrocemento de 3.00 X 4.00 mts. por lado con flecha al centro de 60 cm. armado con varilla de $\varnothing 5/16$ y $\varnothing 1/4$ y dos capas perpendiculares — una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.

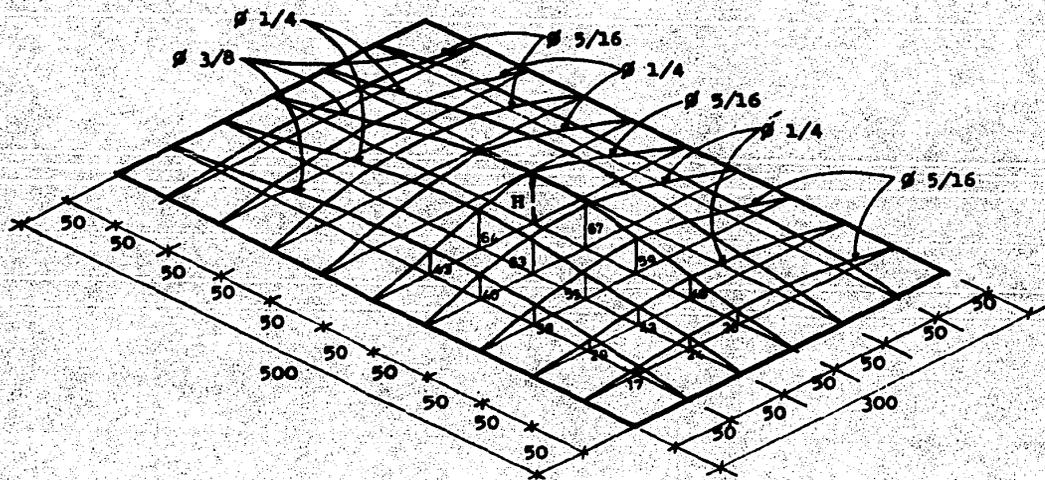


H = 60

en centímetros.

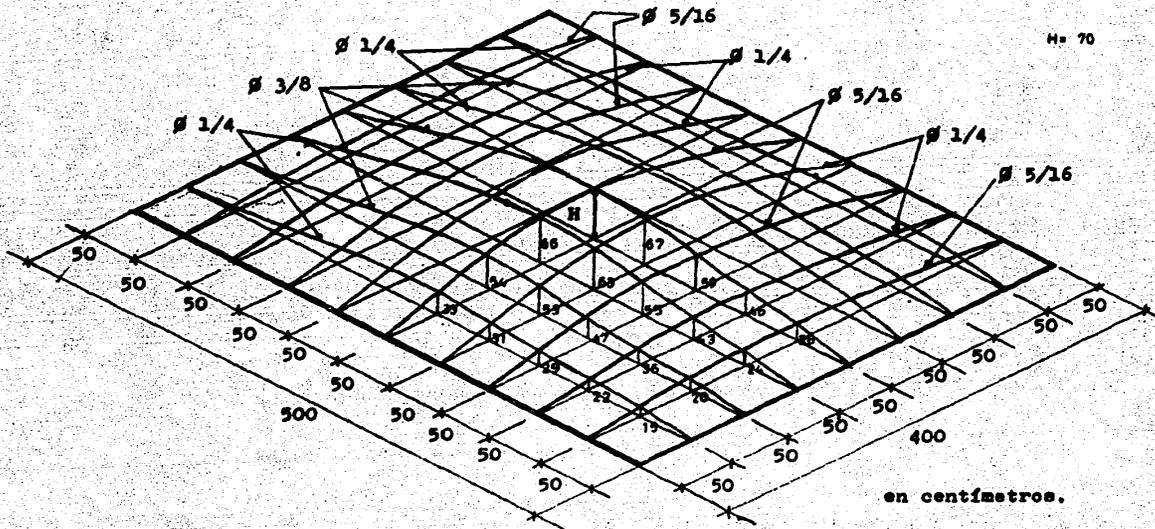
Domo de ferrocemento de 3.00 X 5.00 mts. por lado con flecha al centro -
 de 70 cm. armado con varilla de ϕ 3/8 , ϕ 5/16 y ϕ 1/4 y dos capas perpendicu-
 lares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chiga
 pudiendose sustituir la varilla de ϕ 5/16 por la de ϕ 3/8 por comodidad.

H = 70

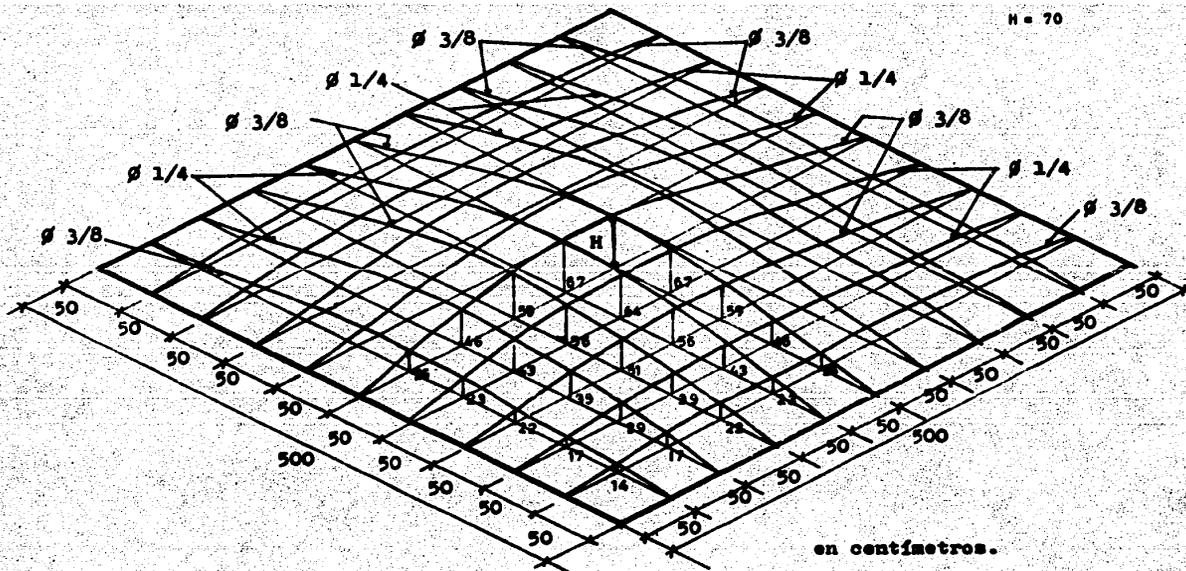


en centímetros.

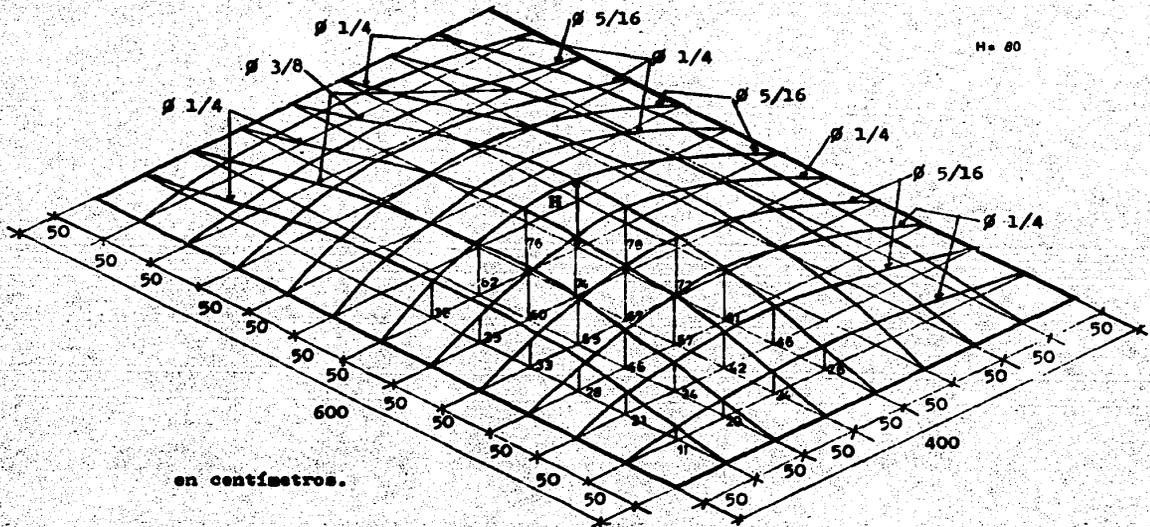
Domo de ferrocemento de 4.00 X 5.00 mts. por lado con flecha al centro de 70 cm. armado con varilla de ϕ 3/8 , ϕ 5/16 y ϕ 1/4 y dos capas perpendiculares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chico pudiendose sustituir por comodidad la varilla de ϕ 5/16 por la de ϕ 3/8.



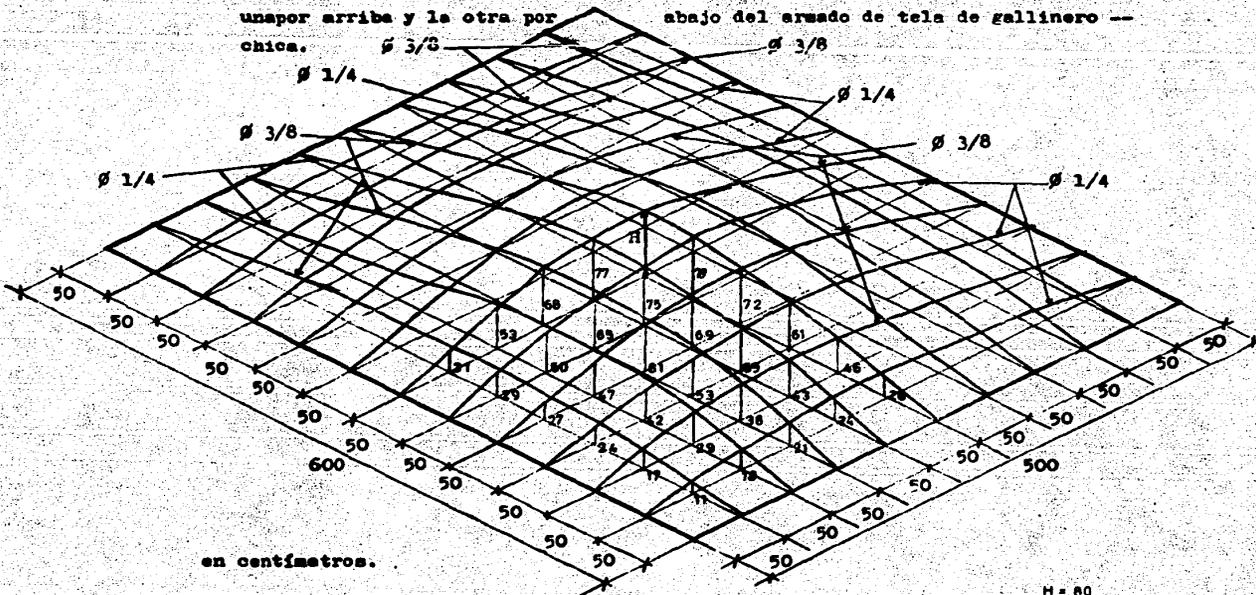
Domo de ferrocemento de 5.00 X 5.00 mts. por lado con flecha al centro de 70 cm. armado con varilla de ϕ 3/8 y ϕ 1/4 y dos capas perpendiculares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica.



Domo de ferrocemento de 4.00 X 6.00 mts. por lado con flecha al centro de 80 cm. armado con varilla de ϕ 3/8 , ϕ 5/16 y ϕ 1/4 y dos capas perpendiculares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de gallinero chica ~~podría~~ sustituir por comodidad la varilla de ϕ 5/16 por la de ϕ 3/8.



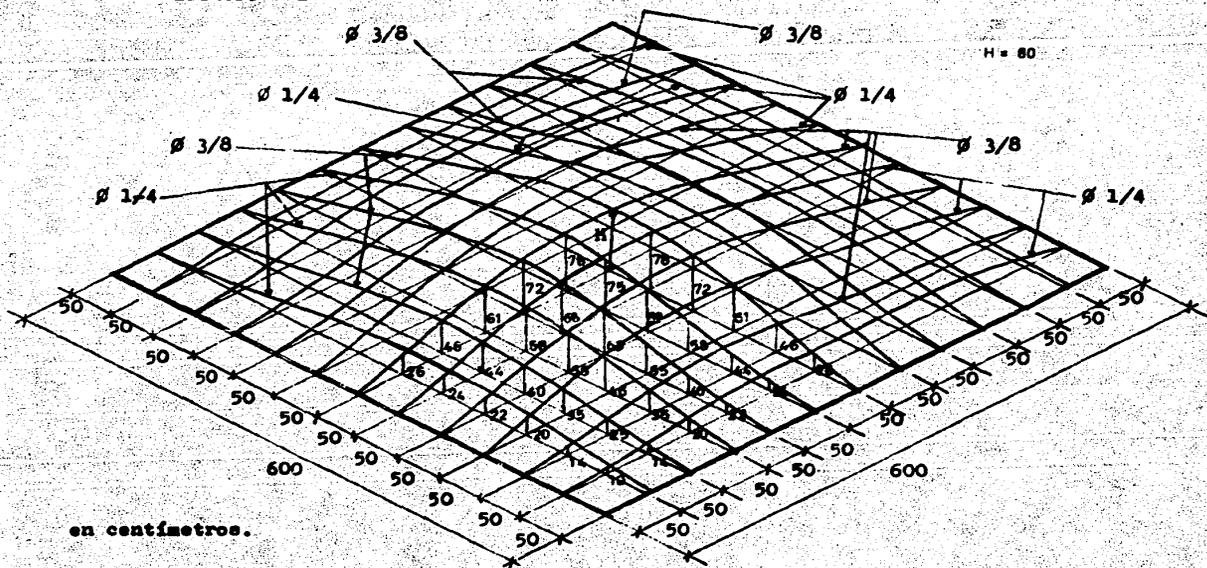
Domo de ferrocemento de 5.00 X 6.00 mts. por lado con flecha al centro de 80 cm. arado con varilla de ϕ 3/8 y ϕ 1/4 y dos capas perpendiculares -- una por arriba y la otra por abajo del arado de tela de gallinero --

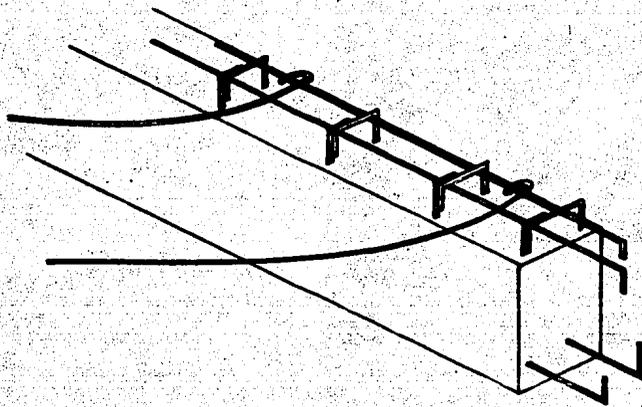


en centímetros.

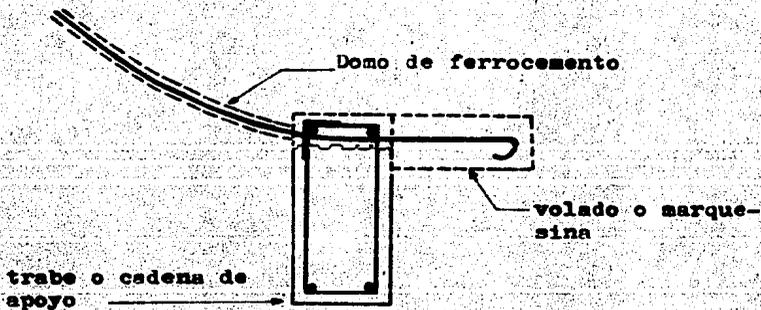
H = 80

Domo de ferrocemento de 6.00 X 6.00 mts. por lado con flecha al -- centro de 80 cm. armado con varilla de ϕ 3/8 y ϕ 1/4 y dos capas perpendiculares una por arriba y la otra por abajo del armado de tela de g---llinero chica.

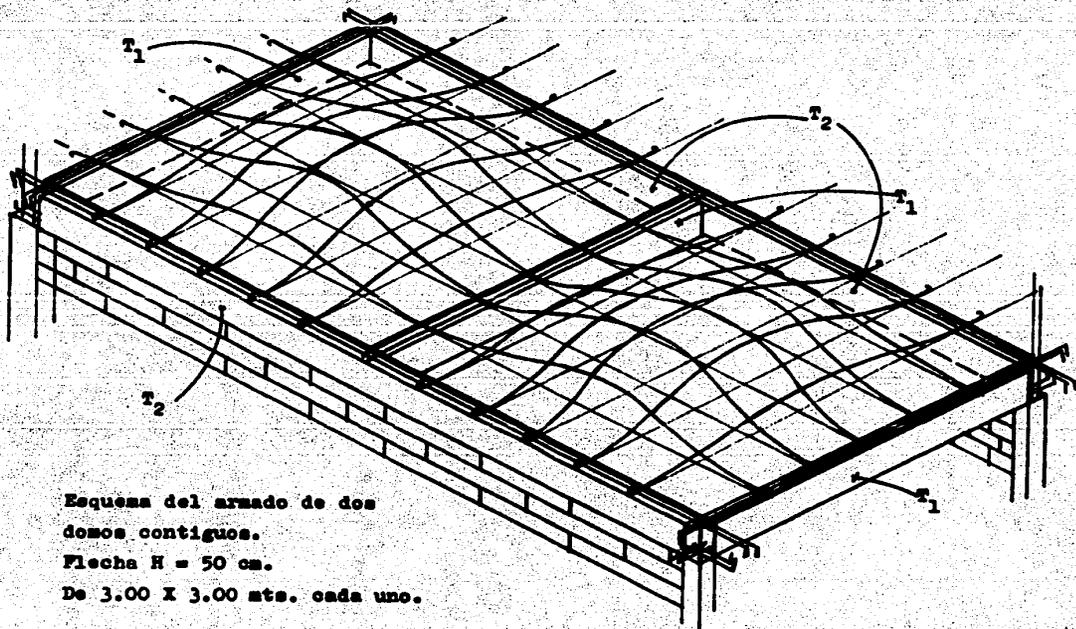




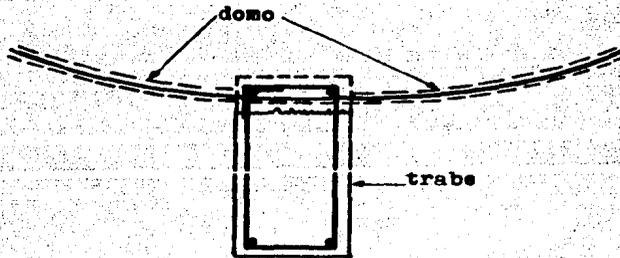
Detalle de anclaje del domo a su apoyo.



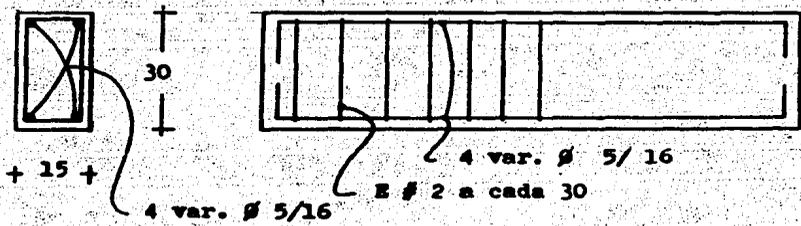
Forma en que deberá armarse en su apoyo un domo de ferrocemento que tendrá un volado ó marquesina - en uno de sus lados.



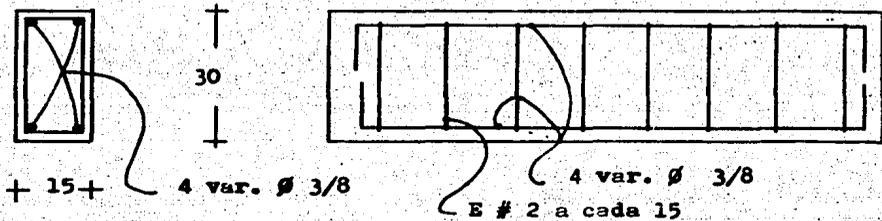
Esquema del armado de dos
domos contiguos.
Flecha H = 50 cm.
De 3.00 X 3.00 mts. cada uno.



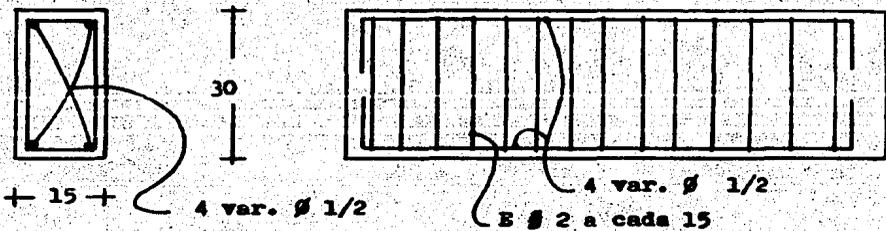
Detalle del anclaje en el apoyo para dos domos-
contiguos.



Armado para cadenas perimetrales sobre muros---
de carga T_2 .



Armado típico T_2 para traves, cerramientos --
en puertas y ventanas con longitud máxima de 3.50 mts.



Armado típico T_1 para traves, cerramientos --
en puertas y ventanas con longitud máxima de 6.00 mts.

IV.- TECHUMBRES DE FERROCEMENTO PREFABRICADAS.

En este capítulo se describirá un procedimiento constructivo susceptible de aplicarse con métodos de autoconstrucción a este tipo de techumbres prefabricadas y que por su sencillez y economía es posible aplicarlo sin problemas en el medio rural y suburbano. Pudiendo variar este procedimiento de acuerdo a los recursos con que se cuente y de los proyectos modulares que se empleen ya que de estos dependerá el número de moldes y sus dimensiones procurando dar a éstos el mayor número de usos posibles, ya que así tendremos una economía - por este concepto y del tamaño de las piezas un fácil manejo manual que no implique el uso de equipo o herramientas costosa.

Como todos sabemos cuando se emplean en elementos prefabricados el uso de moldes se tiene la ventaja de tener un buen acabado de los elementos que se fabrican, un mayor uso de éste, un menor tiempo de fabricación del elemento que se elabora, menos material ya que se tiene menos desperdicio, mayor control de calidad y por lo tanto quizá una mayor economía en el elemento que se fabrica.

a).- Especificaciones.-

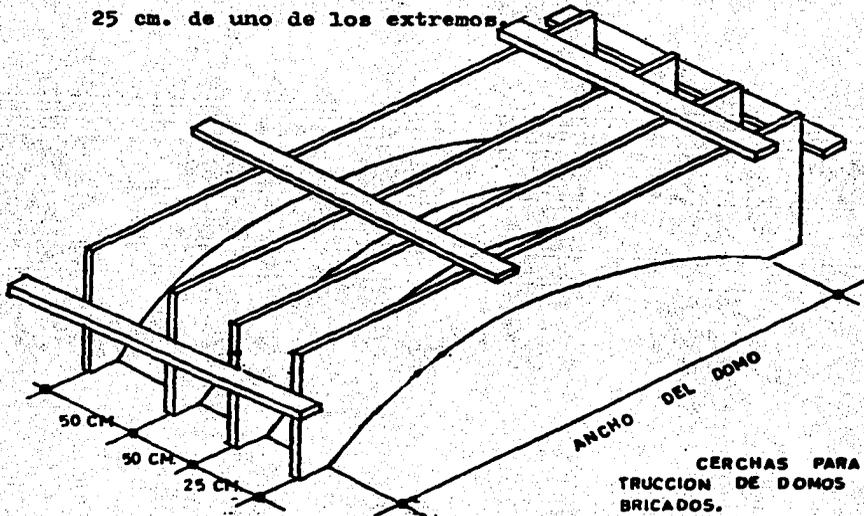
1.- Forma.- como ya se vió en el capítulo anterior la forma de los cascarones de FERROCEMENTO, deberán corresponder a superficies de doble curvatura, elípticas, senoidales ó de arco de círculo, obteniendo con éstas últimas resultados intermedios, pero para nuestras necesidades puede utilizarse cualquiera de éstas ya que son muy confiables y que para su construcción, puesto que utilizaremos moldes no nos representará mayor problema; ya que las coordenadas, se podrán calcular con las ecuaciones ya descritas y para el caso de las su

perfiles de sección de arco de círculo se cuenta en este mismo capítulo con las tablas correspondientes para calcular las flechas de los arcos a diferentes separaciones de éstas.

Es preciso recalcar que se requiere tener bien definidas las dimensiones del domo ya que a éstos no les es posible aumentarse o recortarse y que una vez que se tenga el molde, para la fabricación de los domos ya estaremos limitados a nuestro trabajo.

Para la elaboración del molde una vez que se cuenta con la información anterior, se procede a construir cerchas de madera, cuyas formas deberán corresponder a secciones de la superficie deseada; el trazo de las secciones se hará según se explico anteriormente.

Las cerchas construidas se unirán con largueros de madera, se recomienda que exista una cercha a cada 50 cm. y una adicional que corresponderá a la sección que se localiza a 25 cm. de uno de los extremos.



CERCHAS PARA CONSTRUCCION DE DOMOS PREFABRICADOS.

Lógicamente bastará contar con un juego de cerchas que cubra la mitad del domo, ya que por simetría no se requerirá de ninguna adicional.

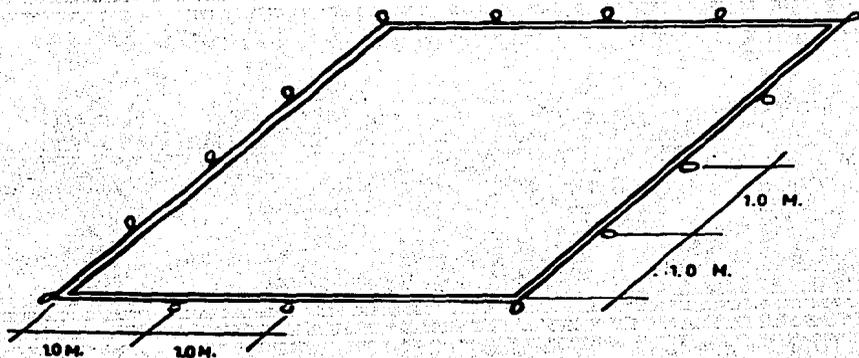
El molde se rellenará con tierra del lugar y con ayuda de las cerchas se procederá a construir un domo igual al definitivo. Será necesario que el material tenga una cierta humedad para que pueda compactarse debidamente con un pisón de mano.

Sobre esta preparación se construirá, también con ayuda de las cerchas, un firme de concreto pulido. De la calidad del concreto y del espesor del firme dependerá el número de usos que se de al molde. Se recomienda utilizar un concreto con $f'_c = 150 \text{ Kg/cm}^2$. y un espesor de 6 cm. el cual nos dará un número muy amplio de usos; independientemente del espesor y de la resistencia del concreto del firme, es necesario hacer resaltar la importancia de la calidad del acabado pulido, ya que si es buena no se presentaran problemas en el desmolde de las piezas, y la terminación interior del domo dependerá de dicho acabado.

Antes de usar el molde, será necesario limpiarlo perfectamente y aplicarle algún producto que evite que el concreto de la pieza se adhiera al del molde. La "grasa amarilla corriente" y la película de polietileno, la primera -- por su economía y ambas por su buen comportamiento como "anti-adherente", resultan ser los más recomendables para este objeto; el aceite quemado de coche se desechó porque manchaba los domos y con el diesel se tuvieron algunos pequeños problemas en el desmolde. No se utilizó cualquier otro desmoldante por economía.

2.- Armado.- El armado requerido mínimo para domos de hasta 11 m^2 , es el siguiente: una vez preparado el molde,-

se coloca el armado directamente sobre él; que consiste en - un doble anillo de alambros de $\varnothing 1/4"$, a lo largo de todo el perímetro de la base. Uno de ellos deberá doblarse formando "argollas", de 10 cm. de diámetro, aproximadamente a cada metro debiendo existir uno en cada esquina del borde. Estos dobles servirán como asas para el izaje de la pieza y después para el amarre de la misma a la estructura.



Armado de borde.

Se colocará a continuación una doble capa de malla de tela de gallinero de 13 mm. de separación y de calibre 22, - amarradas al armado de borde. Se tratará de que las mallas estén lo más restiradas posible, con el objeto de evitar bamientos entre ellas, y lograr con ello el menor espesor posible del domo. Será necesario asegurar un traslape mínimo -

de 5 cm. entre las tiras de malla y que las dos capas se coloquen una en sentido perpendicular a la otra. Esto último es indispensable ya que la tela de gallinero tiene una resistencia aceptable a la tensión en un sentido y muy mala en el otro, y como la pieza ya construida distribuye los esfuerzos en todas direcciones es necesario asegurar que haya refuerzo capaz de resistir tensiones en sentidos ortogonales.

En caso de querer aumentar la resistencia de la pieza ó de aumentar sus claros se tendrá que aumentar el peralte de la misma y/o colocar armado adicional que deberá colocarse en medio de las capas de tela de gallinero. Como se menciona en el capítulo anterior, se anexan él, armados y peraltes para domos de diferentes claros que nos dan una resistencia satisfactoria y que deberán usarse para los domos prefabricados de mayor superficie a la aquí mencionada.

3.- Colado y Curado.- El mortero usado para el colado se elabora usando mezcla de cemento portland normal ó puzolánico y arena con proporción en volumen de 1:1.5, la arena deberá cernirse con una malla No. 8 y una relación agua-cemento de 0.55. Este proporcionamiento origina una revoltura bastante seca, con buena resistencia a la compresión.

Se decidió recomendar la relación arena-cemento en términos de volumen, por considerar que en las condiciones en que se fabricarán las piezas, será más sencillo seguir este tipo de proporcionamiento que en terminos de peso.

La aplicación de la revoltura sobre el armado podrá hacerse directamente con la mano o araferentemente con una cuchara de albañil. La mezcla deberá cubrir sólo la malla superior con objeto de lograr un espesor mínimo y con ello un mejor comportamiento de la pieza, ya que su impermeabilidad es

proporcional a la superficie específica, que es el cociente: superficie de contacto del armado con el mortero entre el volumen del mortero, en donde está ahogado dicho armado. Lógicamente, entre menor sea el espesor, será menor el denominador, y por lo tanto, mayor la superficie específica.

Es aconsejable que con un gancho de fierro ó alguna herramienta similar, se levanten periódicamente las telas de gallinero al estar aplicando la mezcla, para asegurar que esta se introduzca entre el armado y el molle. Logrando con ello un buen acabado interior del domo.

Será necesario también, dar un acabado al domo por su parte superior inmediatamente después de haber aplicado la revoltura, antes de que haya fraguado el concreto.

Al iniciar el fraguado, habrá necesidad de curar la pieza, con objeto de minimizar el agrietamiento que normalmente se presenta; para ello será suficiente colocar por 72 horas arena húmeda sobre el domo recién fabricado, si se desea por una mayor seguridad podrá aplicarse alguna membrana de curado sobre el domo posterior al procedimiento aquí indicado.

B.- Métodos de Construcción

En este rubro puede decirse que dependiendo del tipo de molde, dimensiones y fines del proyecto, el método ó procedimiento podrá variar, pero para el caso que aquí nos preocupa el procedimiento que se describirá a continuación es el que se considera el más apropiado para la fabricación de cascarones de FERROCEMENTO, con fines de autoconstrucción.

El procedimiento constructivo comprende diversas partes como son: la construcción del molde, la construcción propia del domo, el desmolde, el manejo, su almacenamiento, el montaje y la construcción de juntas.

Construcción del Molde.- Para la construcción del mol-

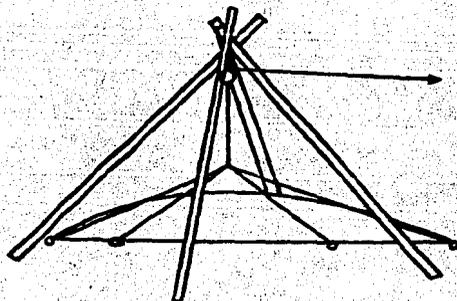
de deberá definirse primeramente la forma del domo a construir, precisando el tipo de superficie, sus dimensiones de la base y el peralte de la pieza, así como la manera en que se va a anclar a la estructura, con objeto de dejar las preparaciones adecuadas. Una vez que se tiene ésto se procede a construir las cerchas de madera, cuyas formas deberán corresponder a secciones de la superficie deseada y el relleno, la compactación y recubrimiento del molde se construirá como un domo igual al definitivo, tomando en consideración el número de usos que se le dará a éste para precisar la resistencia y el espesor del concreto del firme del molde no así su calidad ya que como mencionamos anteriormente de la calidad de su terminado depende el terminado interior del domo y de los problemas que podamos tener al desmoldar los domos fabricados; la manera de definir la forma del domo y la habilitación de las cerchas así como la forma de realizar el molde ya lo mencionamos en este capítulo en lo referente a especificaciones.

La construcción propia del domo... Una vez preparado el molde, será necesario colocar el armado directamente sobre él de acuerdo a las especificaciones indicadas para los domos prefabricados para hasta una superficie de 11 m^2 , y para superficies mayores las indicadas para domos colados in-situ ó sea que requieran una mayor flecha o peralte y el requerimiento de un armado sencillo para aumentar su resistencia, como se muestra en las figuras que se anexaron en el capítulo correspondiente.

Se procede a continuación a efectuar el colado del domo que consiste en cubrir con mortero la tela de gallinero procurando que el mortero penetre debajo de la tela y que el recubrimiento sea el mínimo posible y después de un par de ho-

ras de realizada la operación anterior se dará el acabado de seado (pulido ó escobillado) con objeto de sellar las grietas o defectos que aparezcan en la pieza; y por último el curado del cascaron recién fabricado, el colado y el curado se hará de conformidad a lo señalado en las especificaciones -- del armado, colado y curado en este capítulo.

Desmolde, Manejo, Almacenamiento y Montaje.- Para efectuar la operación de desmolde, deberán haber transcurrido -- por lo menos 72 horas, ya que si se hace antes se presentaran grietas junto a las asas. Será necesario contar con un tripie, que puede ser fabricado con polines o madera rollisa, un marco metálico o cualquier otra estructura capaz de soportar el peso de la pieza (23 Kg/m^2 .), una garrucha de tres gargantas y cable de manila de $3/4"$.



Desmolde de la pieza de FERROCEMENTO.

Para el izaje del domo, será necesario estar con cable -

de manila, por lo menos dos asas de cada uno de los lados de la base del domo a la garrucha, procurando que todos los amarres tengan la misma tensión.

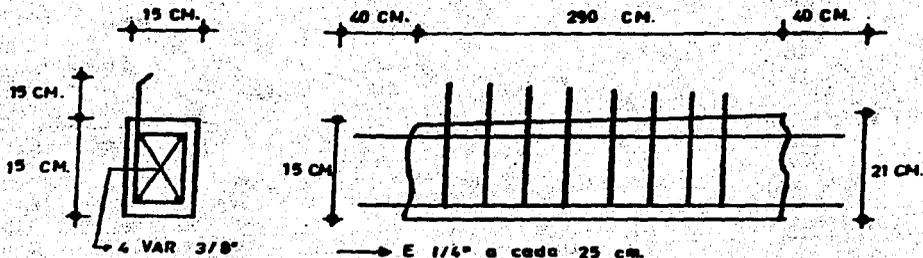
Posteriormente con la ayuda de 2 ó 3 personas, se levantará la pieza del molde, soportandola después con piedras, tabique, etc. entre los soportes no debers existir separaciones mayores de un metro de distancia.

Por último, una persona se subirá sobre la pieza desmoldada y soportada, y la liberará de los amarres, para poderla entonces trasladar manualmente a su posición definitiva o a su lugar de almacenamiento. Se observó que cuando la pieza es mayor de 12 m^2 , se presentan ciertos problemas en su manejo manual, ya que el tamaño disminuye su maniobrabilidad y se requiere en ese caso, más de 8 personas para cargarla.

Cuando sea necesario almacenar varias piezas, podrán colocarse una encima de la otra, poniendo pedazos de madera sobre los bordes, para asegurar una pequeña separación entre ellas (5 cm. aproximadamente).

El montaje puede hacerse en forma manual, recargando uno de los lados del domo sobre la estructura de soporte (muro o trabe) y espujando el lado opuesto con objeto de deslizar la pieza hasta su posición definitiva. Para facilitar esta operación es recomendable disponer de tablonés o polines de madera.

Poniremos como ejemplo, que si se desea cubrir claros de 6 metros, se puede contar con una estructura sencilla capaz de soportar domos prefabricados de menores dimensiones; por ejemplo, se podrá precolar en el piso traveses, de 2.90 m. de largo, 21 cm. y 15 cm. de peralte en sus extremos, y 15 cm de base, con el armado mostrado a continuación:

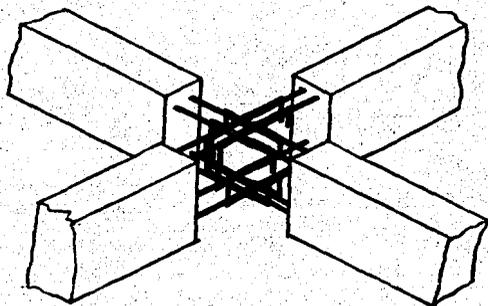


Armado de traves prefabricadas.

Las puntas de las varillas deberán dejarse expuestas en ambos extremos, con una longitud de 40 cm. al igual que una punta de 15 cm. de cada uno de los estribos, con objeto de poder construir las uniones correspondientes: unas para hacer la conexión con las demás traves y las otras para la unión con los domos.

Al quedar unidas estas traves, se formará una retícula, sobre la que podrán descansar los domos prefabricados con dicha solución podrán construirse techumbres de 6 m., de claro corto por cualquier otra dimensión en su claro largo.

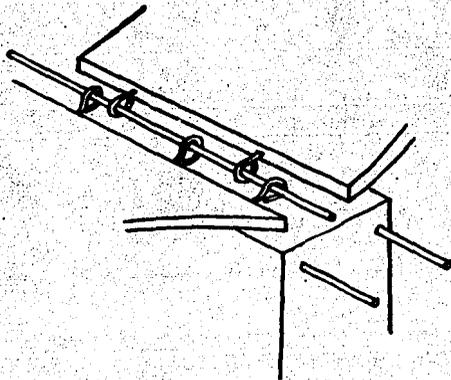
Construcción de juntas.- Para dejar más claro el procedimiento a seguir para la construcción de las juntas proseguiremos con el ejemplo del párrafo anterior. Para construir la estructura de soporte de los domos con traves prefabricadas, se hará la junta entre las mismas como se indica a continuación:



Detalle de junta en estructura de soporte ó secundaria.

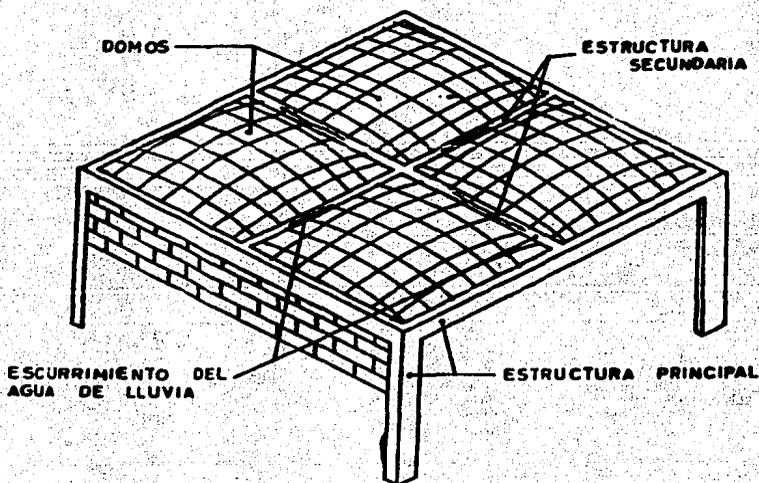
Esta solución evita prácticamente el uso de cimbra, ya que sólo requerirá de puntales que sostengan las traves precoladas en sus extremos y un fondo de madera de 40 cm. X 40 cm. apoyado en otro puntal, sobre el cual se vaciara concreto de 210 Kg./cm².

El tipo de junta más recomendable entre los domos y la estructura es la que aparece a continuación:



Los extremos de los estribos, de la cadena de soporte - de los domos, se dejan sin doblar y al descubierto, para que se amarren a una varilla longitudinal que se hace pasar a través de las asas de la pieza por unir.

La junta se cuela con el mismo tipo de mortero que el - usado para los domos, el espesor de la unión sera de 6 cm. a partir del lecho superior de la cadena o trabe, procurando - hacer una media caña en su acabado, siguiendo la pendiente - de las piezas amarradas puede utilizarse para ésto aunque no es necesario tramos de tela de gallinero sobre el amarre de las varillas, con el objeto de mejorar la impermeabilidad de la junta; como se verá la estructura secundaria tiene una diferencia de peralte en los extremos de las trabes que servirá para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia



Ejemplo de cascarones contiguos para cubrir en forma modular claros mayores, teniendo domos de menores dimensiones.

C).- Comportamiento.-

El comportamiento de los cascarones de FERROCEMENTO de superficies de doble curvatura que mencionamos a continuación corresponden a domos prefabricados.

Comportamiento bajo carga concentrada.- El comportamiento de los domos de FERROCEMENTO, sometidos a carga concentrada, es mejor mientras más curvatura haya en el punto de carga. Así el comportamiento de un domo de sección senoidal es mejor que uno de sección elíptica, cuando la carga se aplica en el centro de la pieza, los domos de sección de arco de círculo con curvaturas intermedias entre los domos mencionados, tienen también una resistencia intermedia las cargas promedio de ruptura fueron: 1934 Kg. para superficies de sección senoidal, 1512 Kg. con secciones de arco de círculo y 1138 Kg. con secciones elípticas.

Una carga concentrada, ocasiona un cierto agrietamiento en toda la pieza, especialmente en la zona de los bordes. — Sin embargo, la fells del domo se presenta en un círculo casi perfecto de 1.20 m. de diámetro promedio, alrededor del "punto" de aplicación de la carga, independientemente de las dimensiones de la base del domo y de la posición de aplicación de la carga.

La presencia de ventanas de 50 cm X 50 cm. para iluminación o ventilación cenital, construidas en la parte superior de los domos, no influyeron en la resistencia de las mismas.

Se puede afirmar que dos capas de tela de gallinero, colocadas en una dirección perpendicular una de la otra y dos alambres a lo largo de los bordes, construyen un armado suficiente para cualquier tipo de domo, ya que se obtuvieron -

resistencias de ruptura: mínimas de 762 Kg. y máximas de 2675 Kg.. Estas resistencias pueden incrementarse, poniendo refuerzo adicional entre ambas mallas, con alambres de 1/4" a cada 60 cm. de separación promedio, se incrementó la resistencia de las piezas en un 285 % aproximadamente.

Es posible reparar el círculo de falla mencionado anteriormente, reemplazando el mortero destruido por uno nuevo, lo mismo que las partes de las mallas dañadas, dándole a la pieza en esa zona su forma inicial obteniendo un comportamiento equiparable al de su estado original.

La falla en domos armados con metal desplegado, es de tipo frágil mientras que por el contrario la falla en domos armados con malla de tela de gallinero es de tipo dúctil.

Comportamiento bajo carga uniformemente repartida.- El comportamiento de los domos sometidos a carga uniformemente repartida, es mejor mientras mayor sea la pendiente que tengan en los bordes. Así, la resistencia de un domo con sección elíptica es mayor que uno con sección senoidal los de sección de arco de círculo, cuyas pendientes en los bordes corresponden a valores intermedios a los otros dos tipos de domos mencionados, tienen resistencias intermedias.

Las fallas de los domos sometidos, a este tipo de cargas, se presentan en la zona de los bordes y su resistencia depende mucho de si las piezas están empotradas ó están libremente apoyadas. En este último caso, los bordes en las esquinas se llegaban a levantar de los apoyos hasta 15 cm. y su resistencia disminuía hasta un 70 % con respecto de las piezas empotradas.

Cuando se incrementa la resistencia a cargas laterales de los muros de apoyo de los domos, se incrementa su capacidad de absorción de los choques producidos al aplicar las --

cargas sobre los domos, y con ello, se incrementan también - los valores de las resistencias últimas de las piezas. Puede afirmarse que, la carga a la ruptura de domos sujetos a carga uniformemente repartidas, corresponderá a la capacidad para absorber los coseos producidos, de los muros de apoyo, -- cuando éstos son de mampostería tradicional.

En los casos en donde los muros de apoyo de los domos - esten convenientemente reforzados, al llegar aproximadamente a un 95 % de la carga final de ruptura, los domos fallaran, invirtiendo su curvatura y quedando colgados con todo y la - carga, de los empotramientos respectivos. Al adicionar un 5% de carga, es cuando se desplomaran, llevandose generalmente con ellos a los muros de soporte.

Al igual que en el caso de cargas concentradas las fallas presentadas en domos armados con metal desplegado fueron de tipo frágil, a diferencia de los armados con tela de gallinero que fueron de tipo dúctil.

Comportamiento bajo cargas de impacto.- La influencia - del impacto sobre los domos, es siempre de tipo local, formando una especie de cráter alrededor del punto de impacto, con una depresión máxima de 9 cm., y un diámetro casi perfecto cuya dimensión dependerá de la energía aplicada.

La reparación de los daños que cause el impacto en los cascarones es muy sencilla, pues sólo se repara la tela de - gallinero dañada, aunque casi nunca resulta afectada, lo mismo el mortero que resulte estrellado por el impacto, teniendo sólo el cuidado de conservar la forma original.

Permeabilidad.- La permeabilidad de los cascarones de - FERROCEMENTO, prefabricados así como sus juntas en sus apoyos o con otros domos es satisfactoria ó sea son prácticamen

te impermeables y no requieren de algun tratamiento especial. **Propiedades Térmicas.**- Las techumbres de PERIODEMENTO aunque son inmunes a la acción del viento, absorbe y conserva bastante el calor, se puede decir que su comportamiento en términos generales es buena aunque es recomendable mejorar sus propiedades térmicas con algun elemento adicional como sería un plafond de manta de cielo, ya que con este se mantiene una temperatura bastante estable en su interior, a pesar de los cambios bruscos de temperatura y velocidad del viento que se presenten en el exterior. Con esta solución se obtienen siempre las más altas temperaturas mínimas y las meras temperaturas máximas así como la menor velocidad de variación de temperatura.

Como comentario diremos que la techumbre de asbesto-cemento estructural es poco efectiva para proteger de los cambios de temperatura, siendo caliente o fria según sea la temperatura en el exterior; que la techumbre de teja presenta un aislamiento térmico, mejor para climas cálidos y que debe juntarse para lugares ariosos y frios, para hacer más constantes las temperaturas en su interior. La techumbre de cartón asfáltico es la que peores características térmicas presenta, se puede considerar casi nulo su valor como aislante térmico es también bastante vulnerable a la presencia del viento.

D.- Costo

Como los procedimientos constructivos de las techumbres descritas se han diseñado exclusivamente para casos de auto-construcción, el costo de la mano de obra no se ha tomado en cuenta en el presente análisis de costos, ya que no representa una erogación del dueño del producto terminado; tampoco se ha considerado el costo de la elaboración del molde ya que se piensa que si este se utiliza para la fabricación de

un número considerable de cascarones, el costo del molde resultará bastante bajo como para tomarse en consideración en el presente análisis; no teniendo validez lo anteriormente mencionado si el empleo del molde es relativamente bajo.

El costo del material, es el correspondiente a los precios del mercado al menudeo, en el Distrito Federal, al mes de febrero de 1987.

Para una techumbre prefabricada de 3.08 X 3.08 (9.50 m²)

MATERIAL	CANTIDAD REAL	UNIDAD	P.U.	TOTAL
Grasa	1.50	Kg.	\$ 1 118.00	\$ 1 677.00
Alasbrón 1/4"	7.80	Kg.	405.50	3 162.90
Alambre recocido # 18	0.50	Kg.	539.00	269.50
Alambre Galv. - cal. 22	0.35	Kg.	1 202.00	420.70
Cemento normal tipo I	105	Kg.	60.75	6 378.75
Arena azul	0.102	m ³ .	7 416.66	756.50
Tela de gallinero 13 mm cal.22	27.30	ml.	643.87	17 577.65

IMPORTE TOTAL \$ 30 243.00

El precio unitario será:

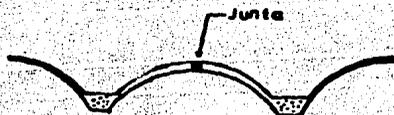
$$P.U. = \$ 30 243.00 \div 9.50 \text{ m}^2 = \$ 3 183.47$$

$$\text{PRECIO UNITARIO} = \$ 3 183.47$$

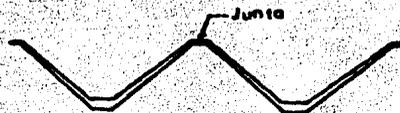
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es finalidad de éste trabajo que los domos de FERROCEMENTO, puedan construirse por los propios beneficiarios en forma casi artesanal, con el menor requerimiento de equipo posible y de ahí que se denomine autoconstrucción, siendo bien cierto que seane necesario una supervisión o mas bien una orientación del procedimiento necesario para la elaboración de éstas, para obtener un correcto resultado de los mismos por personas que conozcan o tengan cierta preparación para llevar a cabo la fabricación de estos domos de FERROCEMENTO.

Es necesario mencionar que no solo existen hasta la fecha este tipo de techumbres de FERROCEMENTO, con métodos de autoconstrucción, sino que hay otras soluciones que han sido propuestas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM., y que son: las bóvedas cilíndricas, las placas plegadas, secciones de peralte variable en dos aguas, secciones en "Y", comruetas y losas de tipo esparado, estudiadas por los Ingenieros C.J. Fendosa, E. Erazo, A. Fuentes y K. KENA; y que igualmente pretenden ser alternativas para solucionar el problema de techumbres económicas a nuestro país, se anexa en la bibliografía la referencia de éstos estudios.



Bóvedas cilíndricas



Placas Plegadas.



Sección de Peralte variable



Elemento en "Y"



Loss tiro Emparedado.

Podemos concluir que posiblemente de las alternativas estudiadas hasta la fecha la que probablemente requiere de menor supervisión, sea la presentada en este trabajo.

Los domos de FERROCEMENTO, coladas in situ, como los prefabricados se han presentado como una solución de techumbre económica, pero recomienda solamente como techumbre considerando con esto la dificultad que se le ve como solución de piso-techo, por la forma que este tiene.

Para los domos prefabricados es posible aplicar cualquier una de las tres secciones mencionadas ya que no existe dificultad alguna para su fabricación, considerando que la sección circular es la que presenta una mayor comodidad para su fabricación. En cuanto a los domos fabricados in situ, aunque se recomienda que tengan cualesquiera de estas tres secciones se puede concluir que si se garantiza que existe una curvatura en la superficie de este su comportamiento sera satisfactorio aunque no cumpla con la forma exacta de las mencionadas secciones, respetando los peraltes mínimos al centro indicados en este trabajo.

En cuanto al armado podemos concluir que para los domos prefabricados basta con dos telas de gallinero ortogonales y su armado perimetral, para su buen comportamiento y que su resistencia se vera aumentada si aumentamos su peralte ó agregamos un armado mínimo. Y que para los domos colados in situ, el armado indicado nos da una resistencia muy satisfactoria, resaltando aquí el uso de la tela de gallinero ya que presenta una falla de tipo dúctil que es recomendable para estos casos.

Se recomienda que en el colado y curado de los domos de FERROCEMENTO, se utilice en los prefabricados cemento normal y para los colados in situ, cemento puzolánico ya que la mezcla resulta mas pastosa y facilita con esto su uso, y que el curado sea el ya mencionado, ya que es económico y da muy buenos resultados.

Se recomienda que para la construcción, de los domos de FERROCEMENTO, se proporcione el mejor anclaje posible en los bordes ya que como vimos ante carga vertical o repartida sus bordes tienden a girar y por lo tanto a levantarse de sus apoyos, especialmente en las esquinas de las piezas. Este gi-

re agrieta el cascaron a lo largo de todo el apoyo y produce el colapso del mismo, por lo que a medida que se evita el giro, se incrementa su resistencia y se evitan deformaciones excesivas. Este puede lograrse colando en forma perimetral una cadena o cerramiento en donde se amplara el domo; deberá contar con castillos de concreto armado los muros de la habitación por techar, si no se llegara a contar con este, se recomienda que en los muros (en las esquinas) se coloquen por lo menos de la mitad de su altura hacia arriba castillos de concreto armado aunque no tengan cadena de remate los muros para mejorar la capacidad de carga de los cascarones. Así mismo se concluye que la iluminación o ventilación cenital en la parte superior de los domos no altera el buen comportamiento de estos.

Los domos de FERROCEMENTO, se pueden reparar cuando -- han sufrido una falla local, producto de algun impacto o por la aplicación de alguna carga concentrada, reponiendo la que ésta sufra una alteración sustancial en su comportamiento general.

Se recomienda la construcción de los domos colados in situ ya que los prefabricados presentan las siguientes posibilidades y limitaciones:

1.- La solución prefabricada solo podrá usarse en proyectos medulados de construcción nueva, con objeto de no tener una variedad apreciable de moldes y que el número de usos de los mismos sea suficiente para no encarecer los costos de las piezas.

2.- Si el desmolde, manejo y montaje de los domos debe ser de tipo manual, las piezas no deberán de ser mayores de aproximadamente, 12 m^2 para que puedan realizarse dichas ma-

niobras con una cuadrilla máxima de 8 personas ya que aunque su peso es relativamente bajo, (23 Kg./ m². aproximadamente) su tamaño es lo que dificulta su maniobrabilidad.

3.- Deberá cuidarse el trazo del soporte de los domos - (muros o traveses), ya que los mismos no permiten recortes o adiciones.

4.- La calidad interior de los techumbres en cuanto a forma y acabado, dependerá de la calidad de los moldes.

Se recomienda ~~para~~ ambas soluciones el empleo de falsos plafones de manta de cielo para mejorar sus propiedades térmicas aunque esta puede no ser necesaria si los ocupantes de este techumbre están habituados a las techumbres de cartón, teja, o de asbesto-cemento ya que este tiene mejor propiedad térmica que las tres antes mencionadas; no siendo así si estas habituadas a una losa de concreto normal, si sentirán el cambio con esta solución.

Se puede decir que los cascarones de FERROCEMENTO, a mediano y largo plazo, constituyen una solución además de económica muy confiable, en su comportamiento de ahí que se recomienda el uso de éstas; es aconsejable que se cuente con algún programa o se asocien varios vecinos para la autoconstrucción de estos cascarones ya que de esta forma podrán hacer la adquisición de los materiales que se requieren con precios del mercado al mayoreo para obtener así una economía mayor en la fabricación de los domos.

Por lo aquí presentado y lo ya presentado por otros autores sobre techumbres de FERROCEMENTO, con métodos de autoconstrucción, se puede concluir que estas soluciones además de ser económicas y confiables constituyen una posibilidad en nuestro país para la construcción de vivienda barata para la clase social ~~mas~~ desfavorecida: de ahí que se sugiera que

se realice una mayor divulgación de estas soluciones y se interese a un mayor número de autoridades gubernamentales para que lleven a cabo programas de construcción aplicando estos sistemas entre la población de nuestro país.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- C. J. Mendoza, E. Erazo, A. Fuentes, M. Vena. " Propiedad básicas del Ferrocemento " . Instituto de Ingeniería publicación # 395. octubre de 1975.
- 2.- E. Erazo, R. Keli. " Sistemas de techo para autoconstrucción ". Instituto de Ingeniería publicación # 418 . agosto - de 1979.
- 3.- J. Castro O., C. Mendoza, " El Ferrocemento y sus posibles aplicaciones en nuestro país ". Instituto de Ingeniería" UNAK. mayo de 1974
- 4.- J. Castro O. " El Ferrocemento y sus aplicaciones". Revista INCYC-78, volumen XIII, enero, febrero de 1976.
- 5.- J. Castro O. " Techumbres de Ferrocemento, elaboradas in situ, con métodos de autoconstrucción ". I Congreso Nacional de Ingeniería Civil, México, 1976.
- 6.- P. L. Nervi. " Concrete and Structural Form ". Bulletin 36 International Ass. Shell Structures. Madrid (dic. 68) - Structural Engineer (may 1956).
- 7.- Piza E. " Sobre una función invariante de esfuerzos de membrana ". Revista Mexicana de Física, vol. XVII, 1968.