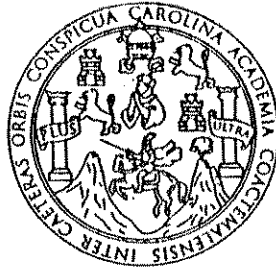


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**POR**

**LUIS FERNANDO VASQUEZ ALFARO**

**AL CONFERIRSELE EL TITULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

**Guatemala, Abril de 1,997**

110  
T(3988)


C. &

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

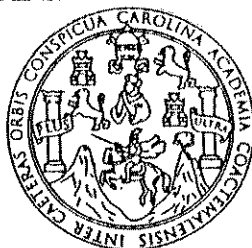
*Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:*

**LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO**

*Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de enero de 1,996.*

  
Luis Fernando Vásquez Alfaro

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	:	<i>Ing. Herbert René Miranda Barrios.</i>
<b>VOCAL 1o.</b>	:	<i>Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.</i>
<b>VOCAL 2o.</b>	:	<i>Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano.</i>
<b>VOCAL 3o.</b>	:	<i>Ing. Juan Adolfo Echeverría Mendez.</i>
<b>VOCAL 4o.</b>	:	<i>Br. Victor Rafael Lobos A.</i>
<b>VOCAL 5o.</b>	:	<i>Br. Wagner Gustavo López C.</i>
<b>SECRETARIO:</b>		<i>Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas.</i>

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN**

**GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	:	<i>Ing. Julio Ismael Gonzalez Podszueck.</i>
<b>EXAMINADOR:</b>		<i>Ing. Walter Rogelio Corzo Chacón.</i>
<b>EXAMINADOR:</b>		<i>Ing. Hugo Ismael Herrera Segura.</i>
<b>EXAMINADOR:</b>		<i>Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velasquez.</i>
<b>SECRETARIO :</b>		<i>Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano.</i>

Guatemala, 8 de noviembre de 1996

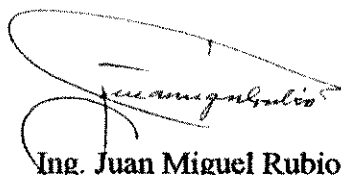
Ingeniero  
Ricardo Augusto Ibarra Menéndez  
Jefe Departamento de Estructuras  
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Ibarra:

Por este medio lo saludo y le informo que ya he revisado el estudio de tesis "LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO", desarrollada por el estudiante de Ingeniería Civil, Luis Fernando Vásquez Alfaro, la cual fue asesorada por el suscrito.

El estudio en mención ha llenado los requisitos necesarios y contempla un primer desarrollo de losas plegadas de utilidad en estructuras simples lo cual, llevará a un desarrollo de viviendas económicas. Esperamos que el uso de estos elementos sea cada vez más frecuente para poder utilizar sus beneficios económicos en un corto plazo.

Por lo anterior, el suscrito le da su aprobación y la recomienda para que sea aceptada como tesis de graduación. Atentamente,



Ing. Juan Miguel Rubio R.  
Catedrático del Area de Estructuras  
Asesor



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, marzo 10 de 1997

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería,  
U S A C.

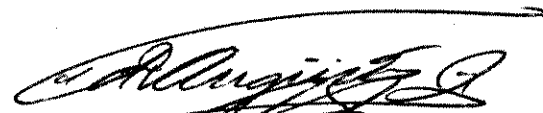
Señor Director

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO, elaborado por el estudiante universitario Luis Fernando Vásquez Alfaro, y asesorado por el Ing. Juan Miguel Rubio Romero.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido, y que será de mucha utilidad para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, el suscrito le da su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Ricardo A. Ibarra M.  
Jefe Depto. de Estructuras

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Juan Miguel Rubio Romero y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ricardo Augusto Ibarra M., del trabajo de tesis del estudiante Luis Fernando Vásquez Alfaro, titulado LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, abril de 1, 1997.

JDIS/bbdeb.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **LOSAS PLEGADAS DE FERROCEMENTO**, del estudiante Luis Fernando Vásquez Alfaro, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO

Guatemala, abril de 1,997



/bbdeb.

## **RECONOCIMIENTO**

*Al Ingeniero Juan Miguel Rubio, por su valiosa y desinteresada asesoría en el desarrollo de mi trabajo de tesis.*

*Al personal del Centro de Investigaciones de Ingeniería y la Sección de Prefabricados, sin cuya colaboración no hubiese sido posible la elaboración de ésta*



## **DEDICO ESTE ACTO**

*A DIOS*

*A MIS PADRES*

*Juan Ramón Vásquez Casasola*

*Telma Elizabeth Alfaro de Vásquez*

*A MI ESPOSA*

*Zonia Beatriz Cárdenas de Vásquez*

*A MI HERMANA*

*Thelma Carolina Vásquez Alfaro*

*A MIS ABUELOS*

*Héctor Manuel Vásquez L. (†)*

*Luz Marina Casasola S.*

*A MIS ABUELOS*

*José Humberto Alfaro A.*

*Zoila Esperanza Alfaro de Alfaro*

*A MI FAMILIA EN GENERAL*

*A MI ASESOR*

*Ing. Juan Miguel Rubio R.*

*A LA*

*Facultad de Ingeniería de la  
Universidad de San Carlos de  
Guatemala.*

*AL*

*Ing. Nicolás Noyola M.*

*A*

*Edgar René Miralles B.  
Carlos Eduardo Miralles  
CYEP*

## **INDICE**

	<b>Pág.</b>
<b>ILUSTRACIONES</b>	<b><i>i</i></b>
<b>GLOSARIO</b>	<b><i>iii</i></b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b><i>iv</i></b>
<b>I. ANTECEDENTES</b>	
1.1. Usos del Ferrocemento	<b><i>1</i></b>
1.2. Estudios de Tesis desarrollados	<b><i>3</i></b>
<b>II. TEORIA ESTRUCTURAL DEL FERROCEMENTO</b>	
2.1. Teoría de esfuerzos	<b><i>5</i></b>
2.2. Procedimiento de diseño	<b><i>15</i></b>
<b>III. LOSAS PLEGADAS</b>	
3.1. Teoría de losas plegadas	<b><i>17</i></b>
3.2. Análisis de losas plegadas	<b><i>22</i></b>
3.3. Diseño del refuerzo	<b><i>27</i></b>

#### **IV. ESTUDIO TEORICO-EXPERIMENTAL**

4.1.	<i>Diseño de modelos de losas plegadas</i>	28
4.1.1.	<i>Tipos de mallas</i>	28
4.2.	<i>Ensayo de elementos</i>	33
4.2.1.	<i>Descripción de elementos</i>	33
4.2.2	<i>Procedimiento constructivo</i>	35
4.2.3	<i>Procedimiento de carga</i>	46
4.2.4.	<i>Resultados</i>	48
4.3.	<i>Análisis de resultados</i>	54
4.4.	<i>Propuesta de procedimiento de diseño</i>	55
4.5.	<i>Análisis económico</i>	65
4.5.1.	<i>Costos de manufactura</i>	69

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<i>Conclusiones</i>	vi
<i>Recomendaciones</i>	viii

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	x
---------------------	---

<b>ANEXOS</b>	xii
---------------	-----

## **ILUSTRACIONES:**

- FIGURA 1:** *Curva Idealizada De Ferrocemento En Tensión*
- FIGURA 2:** *Curva Esfuerzo a Primera Grieta vrs. Volumen de Refuerzo*
- FIGURA 3:** *Curva Esfuerzo a Primera Grieta vrs. Superficie Especifica del Refuerzo.*
- FIGURA 4:** *Curva de Esfuerzo vrs. falla por carga de fatiga a flexión.*
- FIGURA 5:** *Tipos de Losas Plegadas, Secciones transversales: (a) Pliegues horizontales y verticales, (b) combinación de horizontales e inclinados, (c) Pliegues inclinados a 45 grados.*
- FIGURA 6:** *Losas Plegadas en forma de "V"*
- FIGURA 7:** *Losa Plegada: Aplicación de carga vertical, Componentes y Reacciones en extremos de losa y deflexión en la mitad del tramo*
- FIGURA 8:** *Losa Plegada: (a) Cada losa de una placa plegada tiene una longitud "L" mucho mayor que su ancho "a", La flexión ocurre solamente a través de su ancho. (b) Cada franja unitaria se comporta en flexión como una viga continua sobre apoyos rígidos sujeta a la acción de la componente normal de la carga.*
- FIGURA 9:** *Secciones Transversales de cuatro tipos de losas plegadas: (a) Losa plegada de dos unidades, (b) Losa plegada de cuatro unidades, (c) Losa Plegada de cuatro unidades, (d) Losa Plegada de cinco unidades.*
- FIGURA 10:** *Detalle y sección típica de malla Hexagonal de media pulgada.*
- FIGURA 11:** *Detalle y sección típica de malla Cuadrada soldada de media pulgada.*
- FIGURA 12:** *Detalles geométricos del elemento investigado.*

**FIGURA 13 Y 14:** *Detalle de la construcción de muros para apoyo de la Losa Plegada.*

**FIGURA 15,16,17y18:***Detalle de el armado y preparación de la formaleta.*

**FIGURA 19,20,21y22:***Cuadros de resultados y gráficas de el ensayo realizado a el elemento investigado.*

**FIGURA 23:** *Elevación indicando la colocación de los Deformómetros en el ensayo.*

**FIGURA 24:** *Proyección indicando la ubicación de las pequeñas grietas que aparecieron durante la aplicación de carga en el ensayo.*

#### ***ANALISIS ESTRUCTURAL SECCION TRANSVERSAL(Tablas):***

**TABLA 1:** *Coordenadas y apoyos*

**TABLA 2:** *Reacciones y Desplazamientos*

**TABLA 3:** *Combinación de cargas*

**TABLA 4:** *Carga Viva*

**TABLA 5:** *Fuerzas finales en los elementos*

**TABLA 6:** *Elementos, Juntas, longitudes y Angulos.*

## **GLOSARIO**

**CARGA DE DISEÑO:** *Es la carga de servicio multiplicada por los factores de carga última, para dimensionar o diseñar estructuras.*

**CURADO DEL FERROCEMENTO:** *Acción que consiste en mantener húmedo los elementos de ferrocemento por un tiempo que varía de acuerdo con las condiciones propias del lugar, una vez que el mortero ha tenido su fraguado inicial de tres a cuatro horas.*

**FERROCEMENTO:** *Es una capa delgada de mortero de cemento portland reforzada con una malla de acero de pequeño diámetro, que se distribuye uniformemente en toda su superficie.*

**FRACCION DE VOLUMEN DE REFUERZO:** *Es el volumen total de refuerzo por unidad de volumen de compuesto, igualmente dividido entre la dirección longitudinal y transversal*

**LOSA PLEGADA:** *Es una serie de elementos planos delgados o placas planas, conectados entre sí a lo largo de sus bordes, para uso en cubiertas con claros largos.*

**MALLA HEXAGONAL:** *Es una malla cuyos orificios poseen la forma geométrica de un hexágono, los cuales están unidos por un entorche, formando una malla de alambre fino entretejida.*

**MORTERO DE ARENA DE RIO:** *Es la mezcla de un agregado fino, con un aglomerante, en este caso arena de río y cemento.*

**SUPERFICIE ESPECIFICA DE REFUERZO:** *Es el área total depositada de refuerzo por unidad de volumen de compuesto de Ferrocemento.*

## **INTRODUCCION**

*El presente trabajo de investigación fue hecho como un estudio teórico-experimental, de un sistema constructivo no tradicional como lo es el ferrocemento, material que resulta económico y funcional para la fabricación de losas plegadas, y así contribuir a la utilización de estos elementos estructurales en proyectos de vivienda popular, promovidos en países en vías de desarrollo.*

*El ferrocemento es una capa delgada de mortero de cemento portland reforzada con una malla de alambre de pequeño diámetro que se distribuye uniformemente en toda su superficie. Aunque se han utilizado mallas de otros materiales, este trabajo de tesis tratará principalmente de mallas de metal desplegado o mallas hexagonales para gallinero, enfocando de una manera general las de otro material.*

*Por otra parte se presentan antecedentes y estudios desarrollados sobre el uso y aplicaciones del ferrocemento, como soluciones a problemas particulares en la ingeniería civil.*

*Este estudio presenta el análisis, cálculo, diseño, funcionalidad y análisis de costo de losas plegadas de ferrocemento, así como la evaluación de las mismas en cuanto a su capacidad de soporte y costo competitivo con sistemas tradicionales de techado equivalentes.*

*Se describen los ensayos realizados a las losas plegadas, los procedimientos de carga, los resultados y su análisis para poder determinar un factor de seguridad para las mismas.*

*Este trabajo de tesis pretende reunir los conocimientos necesarios para el análisis, diseño y construcción de losas plegadas de ferrocemento, facilitando al lector toda la información necesaria sobre este sistema constructivo sin tener la necesidad de consultar otro tipo de bibliografía que trate al respecto.*



## **I. ANTECEDENTES**

### **1.1 USOS DEL FERROCEMENTO**

*Uno de los primeros usos que se le dió al ferrocemento, se remonta al año 1,849, cuando Joseph Loui Lambot, construyó botes, usando un material que él patentó en Francia bajo el nombre de Ferciment, constituido básicamente por malla de alambre entre tejida, la cual funciona como refuerzo para mortero de cemento hidráulico, el cual producía un material homogéneo con una resistencia y rigidez aceptable, además con resistencia a la corrosión, al fuego, resistencia al impacto, gran flexibilidad, elasticidad, ductilidad y sobre todo sus componentes básicos son económicos.*

*En el año de 1,941 fue utilizado por Pier Luigi Nervi, este material, como un resurgimiento de la idea de Lambot, y fueron construidas un sin numeros de embarcaciones pequeñas, debido a sus propiedad mecánicas. Desde entonces el ferrocemento ha sido utilizado en la construcción de cúpulas y cubiertas de estadios, casas de opera, restaurantes, etc. en Europa. Es de importancia mencionar que a pesar de la demostración de Nervi del satisfactorio uso de este material, su no sistemática investigación y estudio hizo que fuera aplicado mucho después.*

*Este material fue introducido a Estados Unidos y Canadá entre los años 1,965 y 1967, actualmente varias empresas se dedican a la aplicación del ferrocemento en la construcción de pequeñas embarcaciones.*

## **1.2 ESTUDIOS DE TESIS DESARROLLADOS**

*Entre los estudios de tesis desarrollados en Guatemala, únicamente se encuentran los realizados por los ingenieros Francisco Javier Quiñones de la Cruz, sobre bóvedas parabólicas de ferrocemento, Mario Efraín Alfaro Pérez, quien desarrolló su investigación sobre láminas de ferrocemento, el ingeniero Edwin Rolando Nuñez Rivas, sobre perfiles planos prefabricados en ferrocemento, y otros estudios entre los que se podrían mencionar como el realizado por ingeniero Hugo Berty Sierra Jimenez, sobre un tanque de ferrocemento para almacenamiento de agua potable.*

*El Ing. Quiñones realizó su estudio enfocado a un sistema de techo totalmente diferente a los empleados tradicionalmente, como lo es la construcción de bóvedas, utilizando dos tipos de mortero, uno con arena pómez y el otro con arena de río.*

*El Ing. Mario Efraín Alfaro Perez , presentó su tesis respecto a la metodología para la construcción de láminas de ferrocemento así como la evaluación respectiva de las mismas para determinar la capacidad de soportar cargas de servicio y carga última de soporte para determinar su factor de seguridad. Se hicieron recomendaciones en cuanto a tipo y cantidad de capas de mallas y tipos y granulometría de la arena a utilizar.*

*El Ing. Edwin Rolando Nuñez Rivas, en su estudio presenta el diseño, cálculo, análisis, funcionalidad, costos y la técnica empleada en la construcción de elementos planos prefabricados en ferrocemento (viga tipo I). Se presentan los resultados obtenidos del ensayo a flexión.*

*El Ing. Hugo Berty Sierra Jimenez enfoca su estudio al problema de almacenamiento de agua potable, por medio de tanques cilíndricos de ferrocemento, realizando un análisis y diseño del depósito, presentando los resultados de los ensayos de presión interna de acuerdo a las condiciones de servicio, así como también el aspecto económico.*

*El Ing. Guillermo Iván Hernandez Hill realiza su tesis referente a la variación de la resistencia en flexión de elementos de ferrocemento debido a tipo y cantidad de refuerzo y agregados, aplicando su estudio a bóvedas para cubiertas de vivienda económica.*

*El Ing. Francisco Monzón Sevilla enfoca su estudio a aspectos importantes del ferrocemento como su composición y construcción, sus propiedades físicas y mecánicas, criterios de funcionamiento y dar a conocer algunas aplicaciones en distintos países.*

## II. TEORIA ESTRUCTURAL DEL FERROCEMENTO

### 2.1 Teoría de Esfuerzos

*Para pronosticar el comportamiento del ferrocemento bajo condiciones de servicio, se acepta un análisis elástico similar a aquel diseño de esfuerzos de trabajo en concreto reforzado, teniendo en cuenta que el módulo del alambre de la malla de acero es el considerado. La carga última también puede ser pronosticada para miembros flexionantes, analizando el ferrocemento como un miembro de concreto reforzado utilizando el método de diseño de cargas últimas (ACI 318).*

*Entre los parámetros de refuerzo más importantes son: La fracción de volumen de refuerzo, que es el volumen total de refuerzo por unidad de volumen de compuesto, igualmente dividido entre la dirección longitudinal y transversal.*

*La superficie específica del refuerzo, es el área total depositada de refuerzo por unidad de volumen de compuesto. El módulo de una malla no es necesariamente el mismo módulo elástico del filamento del cual está elaborado. En una malla tejida de acero, el acero impone a los alambres un perfil ondulado. Cuando se prueba en tensión, la malla tejida fabricada de estos alambres se estrechará más que una malla soldada similar hecha de alambres rectos. Por lo tanto, una malla tejida se comporta como si tuviera un módulo elástico más pequeño que el de los alambres de acero de los cuales está hecha. Además cuando una malla tejida está dentro del mortero tiende a enderezarse.*

*El comportamiento del Ferrocemento cuando es sometido a esfuerzos crecientes de tensión, permite que se observen tres etapas, éstas pueden observarse claramente en la curva de esfuerzo-deformación de muestras de ferrocemento reforzada con malla de alambre. (Figura No. 1)*

### **Comportamiento Elástico**

*El modulo de elasticidad del ferrocemento puede predecirse con el uso de la ecuación siguiente:*

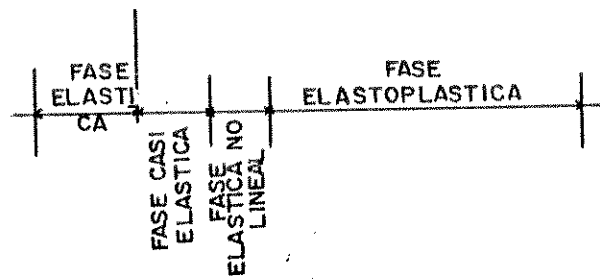
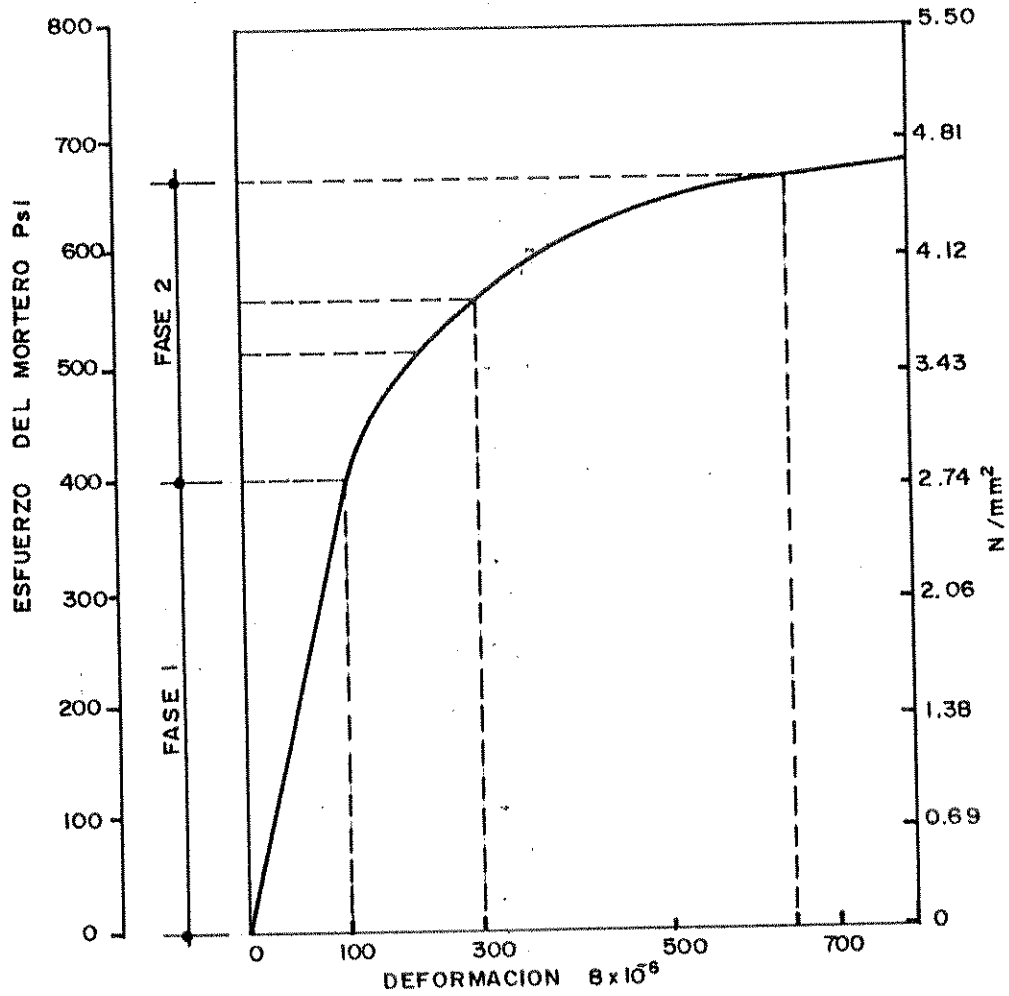
$$E_c = (1 - VRL) E_m + VRL * E_r$$

$$E_m + VRL * E_r = E_m (1 + VRL * n)$$

*Donde  $E_c$ ,  $E_m$  y  $E_r$  son módulos de elasticidad para el ferrocemento, el mortero y el acero de refuerzo, respectivamente;  $VRL$  es el volumen del refuerzo, la  $L$  se refiere a las propiedades en dirección longitudinal, y  $n$  es la relación modular  $E_r/E_m$ .*

*El comportamiento elástico lineal, frecuentemente recibe el nombre de esfuerzo al primer agrietamiento. Conforme aumenta el agrietamiento múltiple, disminuye la contribución del mortero, durante la etapa de agrietamiento múltiple, puede predecirse a proximadamente un valor límite menor del "modulo de elasticidad", al no tomar en cuenta la contribución del mortero. En este caso la ecuación se vuelve:*

$$E_c = VRL * E_r \quad (ec.1)$$



**CURVA IDEALIZADA DE FERROCEMENTO EN TENSION**

FIGURA 1:

Para malla tejida, el valor de  $E_r$  puede ser considerablemente bajo, dependiendo de la abertura del tejido y de otros parámetros. Para malla tejida, los valores generalmente usados de  $E_r$  para ferrocemento pueden variar entre  $(1.0506 \text{ y } 2.04) \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### Comportamiento al agrietamiento:

Un parámetro que es crítico para determinar el comportamiento al agrietamiento, es la superficie específica del refuerzo  $S_r$ , que se define como la superficie perimetral ( área de adherencia ) del refuerzo, por unidad de volumen. (figura 2).

$$S_r = \frac{4V_r}{\varnothing} \quad (\text{ec.2})$$

donde  $\varnothing$  es el diámetro del alambre empleado.

Una relación directa entre el espaciamiento promedio de las grietas  $(\Delta l)_{av}$  en el punto de estabilización y la superficie específica del refuerzo, la cual se expone así:

$$(\Delta l)_{av} = \frac{\theta}{n} \frac{1}{S_r l} \quad (\text{ec.3})$$

donde  $(\Delta l)_{av}$  = espaciamiento promedio de grietas

$\theta$  = factor que relaciona el espaciamiento

promedio con la separación máxima de grietas.

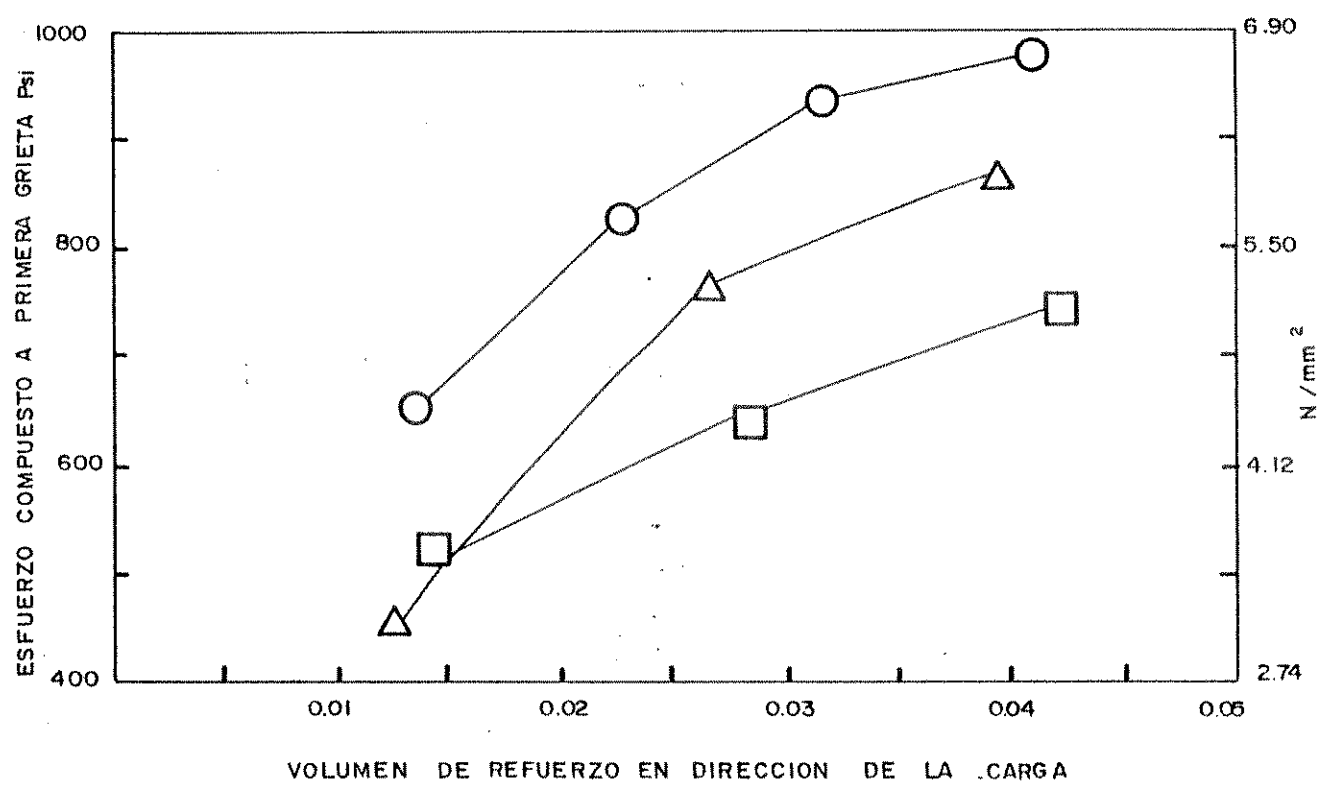
$n$  = relación entre resistencia a la adherencia

y resistencia a la tensión de la matriz.

$S_r l$  = superficie específica del refuerzo en la dirección de carga.

El factor  $\theta/n$  puede ser aproximado, para propósitos de diseño.

### ESFUERZO A PRIMERA GRIETA Vrs VOLUMEN DE REFUERZO



- MALLA ENTRETEJIDA CUADRADA
- MALLA ENTRETEJIDA SOLDADA
- △ MALLA ENTRETEJIDA CUADRADA

FIGURA 2:

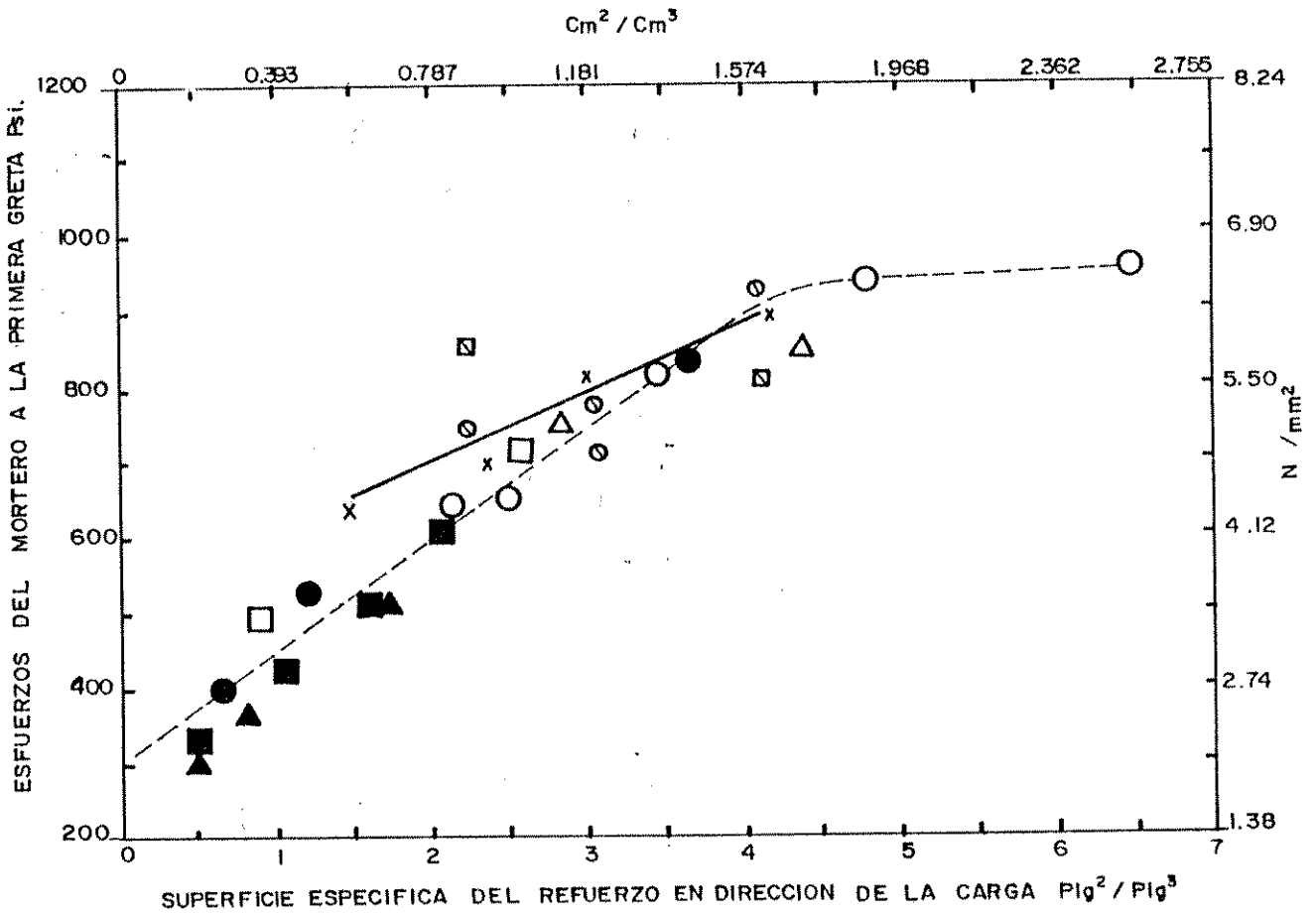


*Puede observarse que para la misma superficie específica se obtienen separaciones menores, cuando el refuerzo contiene alambres transversales (mallas). Los valores observados del espaciamiento promedio de grietas en la etapa de estabilización, en relación con la superficie específica del refuerzo en la dirección de carga  $S_{rl}$ , aparecen en la figura 3.*

*La ecuación (4) puede usarse como ecuación de diseño para predecir la separación de grietas en el ferrocemento, en la etapa de estabilización. El ancho de la grieta en el ferrocemento depende de los esfuerzos sobre el acero de refuerzo. La superficie específica para concreto reforzado tradicional es de alrededor de un décimo de la del ferrocemento; por ello es posible usar en el ferrocemento esfuerzos de diseño mayores para el acero de refuerzo, por lo que pueden diseñarse estructuras de ferrocemento para esfuerzos de acero mucho mayores que los posibles en construcciones de concreto reforzado.*

### ***Resistencia a la Fractura***

*La resistencia del ferrocemento a la tensión depende principalmente del volumen del acero de refuerzo y de la resistencia de la malla a la tensión. El tipo de arena, de peso normal o ligero y las relaciones arena/cemento y agua/cemento casi no influyen sobre la resistencia a la tensión del ferrocemento.*



**ESFUERZOS A LA PRIMERA GRIETA Vrs. SUPERFICIE ESPECIFICA DEL REFUERZO**

△	MALLA ENTRETEJIDA CUADRADA	} ACERO BAJA RESISTENCIA
□	MALLA ENTRETEJIDA SOLDADA	
○	MALLA ENTRETEJIDA CUADRADA	
●	MALLA ENTRETEJIDA SOLDADA	} ACERO ALTA RESISTENCIA
■	MALLA ENTRETEJIDA CUADRADA	
▲	MALLA ALAMBRE SOLDADA	ACERO INTERMEDIA RESISTENCIA

FIGURA 3:

*El comportamiento del ferrocemento sometido a flexión, permite observar, que la capa externa donde se encuentran los alambres transversales, es el sitio más común para la aparición de grietas.*

*La superficie específica del acero de refuerzo no parece influir tanto en el comportamiento del agrietamiento a flexión como en el comportamiento a tensión. El ancho promedio de grieta es principalmente función de la deformación causada por la tensión en la capa externa de la malla y no depende de otros parámetros que son importantes en el concreto reforzado.*

*La ecuación propuesta para predecir el ancho promedio de grietas como función de la deformación del acero es la siguiente:*

$$W_{max} = \epsilon_s \cdot S' \cdot \beta \quad (\text{ec. 4})$$

*Donde  $W_{max}$  = ancho máximo de grieta,  $S'$  = tamaño de malla o separación de centro a centro de los alambres de la malla,  $\beta$  = relación de distancias hasta el eje neutro, desde la fibra externa de tensión, y desde la capa más externa del acero, y  $\epsilon_s$  = deformación en la capa externa de tensión de la malla;  $\epsilon_s$  puede ser sustituido por el valor correspondiente de  $f_s/E_r$ .*

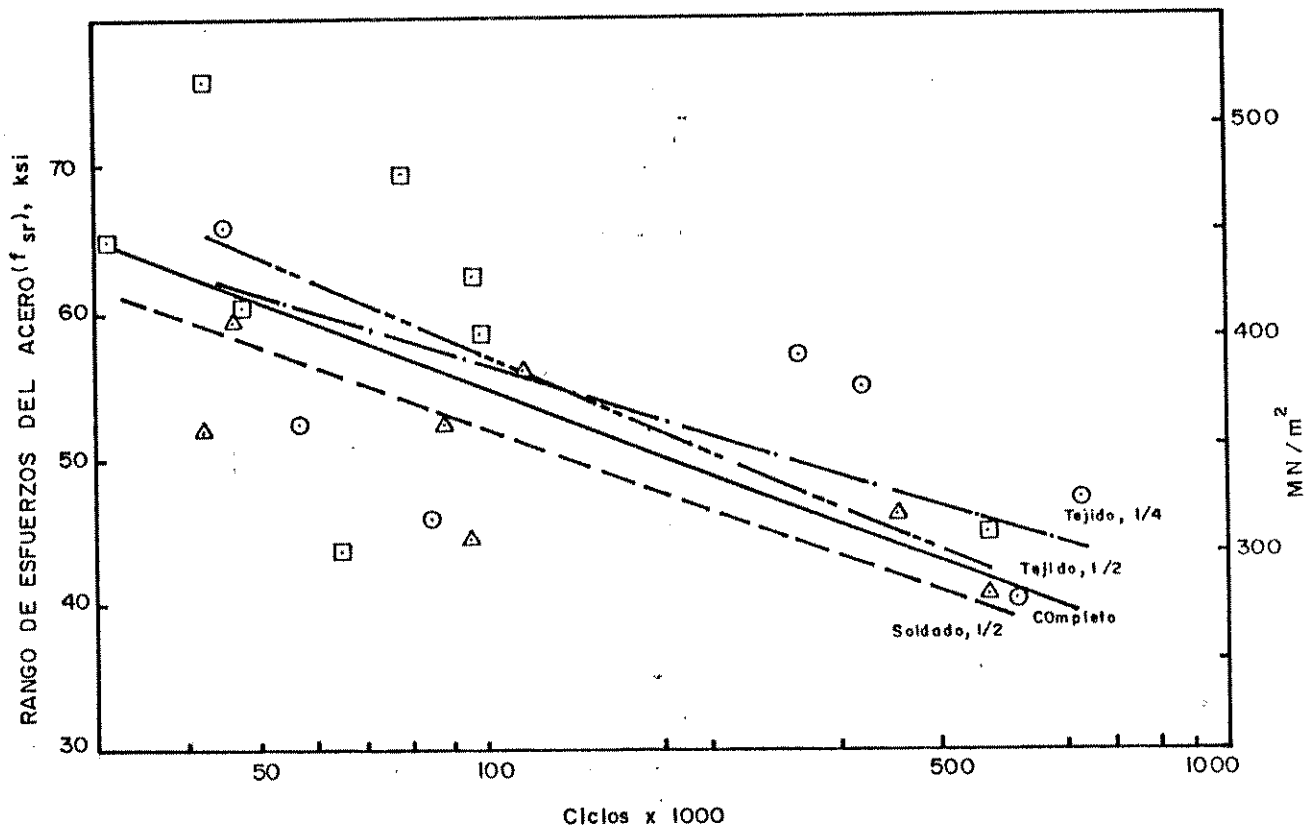
### **Carga de Fatiga**

*La fatiga del ferrocemento en muestras a flexión, está regida por las propiedades de fatiga por tensión de la malla.*

*La ecuación que se propone a continuación, representa datos sobre deflexiones y anchos promedio o máximos de grietas, bajo carga de fatiga que dura cerca del 90% de la vida de fatiga:*

$$Y = Ae^{Br} \quad (\text{ec.5})$$

*Donde Y = deflexión, ancho promedio o máximo de grieta, A= valor de Y bajo carga máxima en prueba estática, e= base de logaritmos neperianos, r= relación de ciclos  $N/N_f$ , es decir el número de ciclos N en el cual se calcula Y, dividido entre el número de ciclos hasta la falla  $N_f$ , B= parámetro determinado por datos experimentales y relacionado con  $N_f$ . Se observó un valor constante de  $B = 0.667$  para deflexión, y  $B = 1.67$  para anchos de grieta, con  $N_f$  mayor que 450,000 ciclos. (Figura 4)*



FALLA DEBIDA A FATIGA POR FLEXION. 1 ksi = 70.3 Kg/Cm<sup>2</sup>; 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.2 kg /Cm<sup>2</sup>

△	SOLDADO, 1/2
□	TEJIDO, 1/2
○	TEJIDO, 1/4

FIGURA 4:

## 2.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

### *Recomendaciones de Diseño*

*En este capítulo se hacen algunas recomendaciones que pueden servir de ayuda para el diseño de estructuras de ferrocemento.*

*El esfuerzo permisible de tensión en el acero de refuerzo, generalmente puede considerarse igual a  $0.60 f_y$ , donde  $f_y$  es la resistencia límite de fluencia medida bajo una deformación de 0.0035; sin embargo los valores mencionados son válidos, siempre que la separación del tejido de la malla sea moderado para asegurar un módulo apropiado.*

*El esfuerzo permisible de compresión en el compuesto, puede considerarse igual a  $0.45 f'_c$ , donde  $f'_c$  es la resistencia a la compresión del mortero.*

*El volumen total del acero de refuerzo VR, no debe ser menor que 1.8% en ambas direcciones, al igual que la superficie específica total del acero de refuerzo SR, no debe ser menor que  $2 \text{ pulgadas}^2 / \text{pulgadas}^3$  ( $0.8 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ ) en ambas direcciones; generalmente se recomiendan valores del doble de éstos.*

*El promedio recomendado para el recubrimiento del acero de refuerzo, es aproximadamente  $1/12$  de pulgadas (2mm). También es recomendable que, para espesores mayores que  $1/2$  pulgada (12 mm), el recubrimiento no exceda de  $1/5$  del*

espesor "t" ó 3/16 de pulgada ( 5mm), para poder asegurar la distribución apropiada de la malla.

Es recomendable que el valor máximo del ancho de grieta sea menor que 0.004 pulg. ( 0.1mm ) para ambientes no corrosivos, y de 0.002 pulg. (0.05mm) para ambientes corrosivos.

Para elementos en tensión el esfuerzo en el acero,  $f_s$ , es menor que la resistencia límite de fluencia y, en todo caso, menor que 4218 Kg/cm (60 ksi):

Para cualquier  $f_s \leq 345$  SRL,

$$W_{max.} = 3500 / ER \quad (ec.6)$$

Para un determinado elemento de ferrocemento de espesor  $t$ , la abertura ( $s$ ) recomendada de la malla, no debe ser mayor que  $t$ , además, el número ( $N$ ) de capas de malla debe ser tal que:

$$N \geq 4t$$

Cuando se incluye armado se recomienda que no ocupe más del 50% del espesor del elemento de ferrocemento. En este caso, conviene utilizar  $N \geq 4t'$ , donde  $t'$  es el espesor en el cual se distribuyen las mallas.

El ferrocemento, por su poco peso, posee una elevada resistencia a la tensión, y un buen comportamiento contra el agrietamiento. Esto significa que las estructuras delgadas de ferrocemento pueden ser relativamente ligeras, impermeables y resistentes al impacto.

### **III. LOSAS PLEGADAS**

#### **3.1 Teoría de Losas Plegadas**

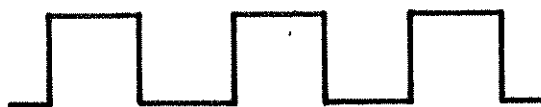
*Una estructura de losas plegadas consta de una serie de elementos planos delgados o placas planas, conectados entre sí a lo largo de sus bordes. Suelen utilizarse en claros largos, en especial para techos, y resultan más económicas por la acción de trabe de las placas y por el apoyo mutuo que se dan éstas entre sí. (figura 5). Sus bordes o pliegues pueden ser capaces de transmitir tanto los momentos como las fuerzas cortantes o sólo las fuerzas cortantes.*

*Una estructura de losas plegadas tiene una acción en dos sentidos para transmitir las cargas a sus apoyos. En sentido transversal, los elementos actúan como losas con claros que abarcan entre las placas de ambos lados. Las placas, entonces, actúan como trabes para llevar la carga de las losas en sentido longitudinal a los apoyos, los que deben ser capaces de resistir las fuerzas verticales y horizontales.*

*En la teoría de losas plegadas se deben considerar ciertas suposiciones como que, el material es elástico, isotrópico y homogéneo.*

*La distribución longitudinal de todas las cargas en todas las placas, es la misma. Las losas plegadas llevan las cargas en sentido transversal sólo por flexión normal a sus planos y, en sentido longitudinal sólo por flexión dentro de sus planos. Los esfuerzos longitudinales varían en sentido lineal en el espesor de cada placa.*





(a)



(b)



(c)

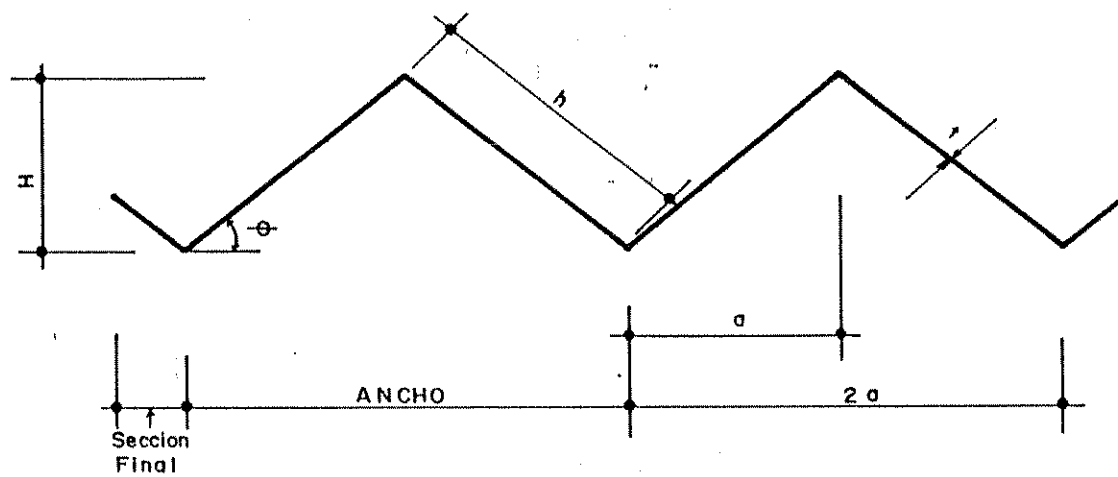
**FIGURA 5:**

*Tipos de Losas Plegadas, Secciones transversales: (a) Pliegues horizontales y verticales, (b) combinación de horizontales e inclinados, (c) Pliegues inclinados a 45 grados.*

*Los elementos de soporte, tales como marcos, y vigas, son de rigidez infinita en sus propios planos y completamente flexibles en dirección normal a sus propios planos.*

*La acción de la estructura general de techos de losas plegadas prismáticas de medidas simples son consideradas sin derivación o fórmulas. Los resultados son obtenidos en forma de momentos transversales en la losa, compresiones plegables longitudinales y principales esfuerzos de tensión en las losas o placas, y fuerzas cortantes entre las placas y sus extremos de apoyo. Los valores obtenidos para compresiones plegables longitudinales en medio tramo y fuerzas cortantes en los apoyos, son comparados con aquellos dados por la teoría de una viga ordinaria.*

*La forma más simple de losas plegadas (figura 6), consiste de dos losas rectangulares inclinadas o planchas continuas a través de un borde común y conectadas a planchas de extremos triangulares; cada extremo de plancha está soportado por una pared o por dos columnas. Al ser aplicada una carga vertical concentrada sobre la mitad de la arista (figura 7a), puede separarse en dos componentes, las cuales actúan en los planos de las dos planchas. Cada plancha actúa como una viga (figura 7b), y entrega sus reacciones finales a los extremos de las losas (figura 7e). La deflexión vertical del lado a la mitad del tramo puede ser determinada por un diagrama de Williot como se muestra en la (figura 7d).*



## LOSAS PLEGADAS EN FORMA DE V

FIGURA 6:

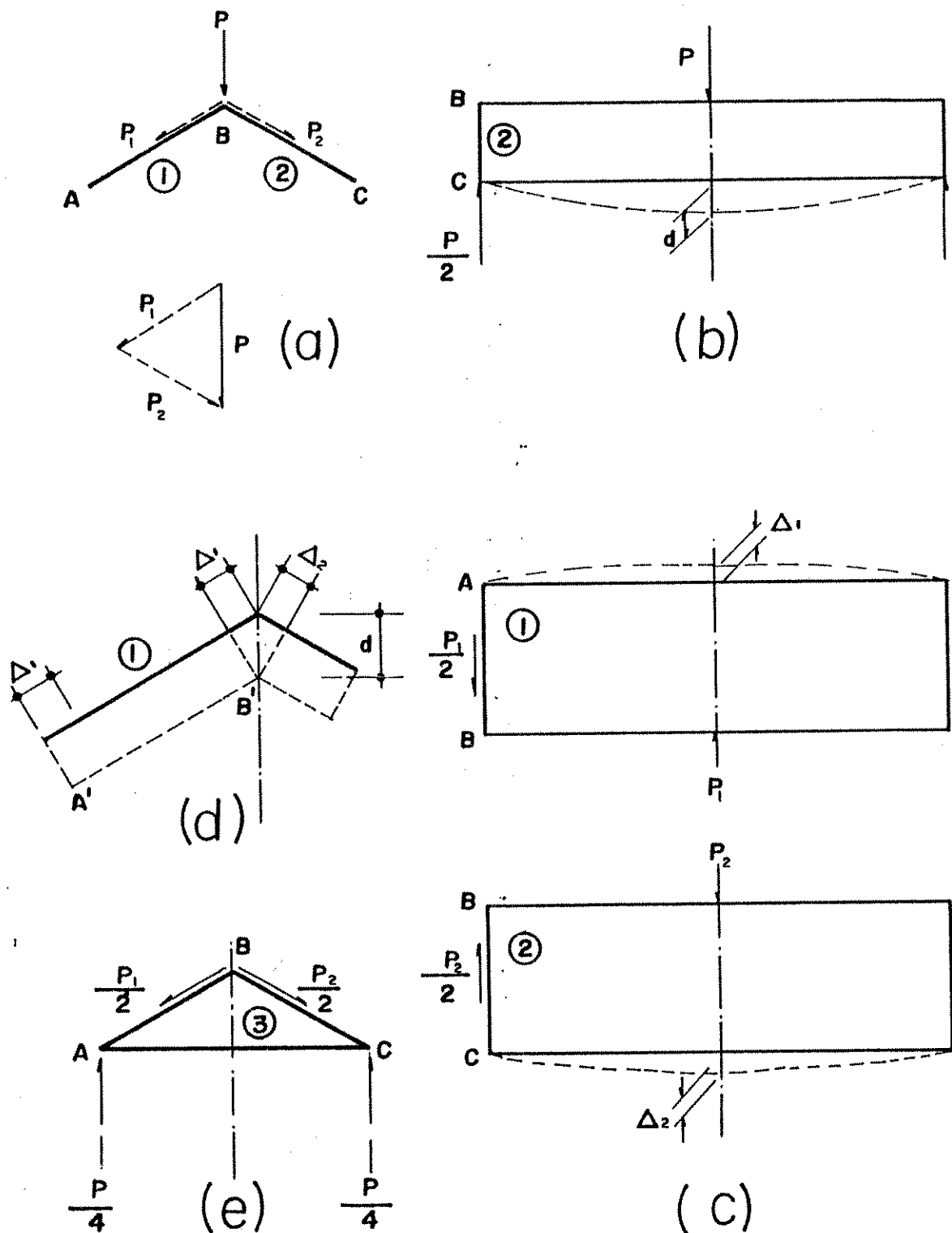


FIGURA 7:

Losa Plegada en dos partes con carga puntual concentrada al centro: (a) Sección Transversal y componentes de carga, (b) Elevación Lateral, (c) Vista Desarrollada de los Pliegues, (d) Deflexión en la mitad del pliegue, (e) Cargas en el final de las placas o pliegues.

*Si una carga vertical, en vez de estar concentrada sobre el lado a la mitad del tramo, es uniformemente aplicada a las dos planchas (figura 7a y 7b), franjas transversales de las dos planchas actúan como vigas proyectadas de losa (figura 7c) balanceadas sobre la arista.*

*La reacción de estas vigas sobre la arista o lado, se separa (figura 7d) en dos componentes en los planos de las planchas. Estos componentes son cargas uniformes, las cuales son aplicadas a cada plancha a lo largo de la arista como se muestra en la (figura 7). La carga uniforme de la estructura es así, primero soportada por la acción de la losa transversal y después por acción de la viga longitudinal en las planchas.*

### **3.2 ANALISIS DE LOSAS PLEGADAS**

*Cada losa plegada tiene una longitud "l" mucho mayor que su ancho "a" (figura 8). Por tanto, la flexión ocurre solamente a través de su ancho, es decir, las losas desarrollan acción flexionante en un sentido en la dirección transversal. En una placa plegada con numerosos pliegues, bajo carga vertical uniforme, todas las losas se flexionan idénticamente, excepto las que están cerca de los bordes de la placa, las cuales están debilitadas por la falta de apoyos transversales dados por las losas adyacentes. Ya que no hay desplazamiento relativo entre los pliegues interiores, cada faja unitaria transversal de una losa interior se comporta en flexión como una viga continua sobre apoyos rígidos sujeta a la acción de la componente normal de la carga.*

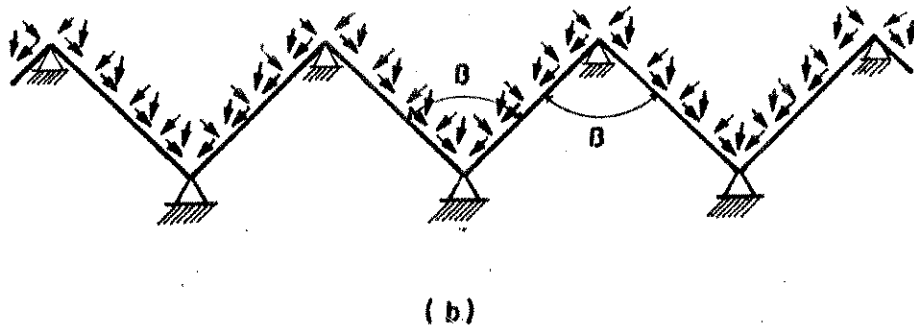
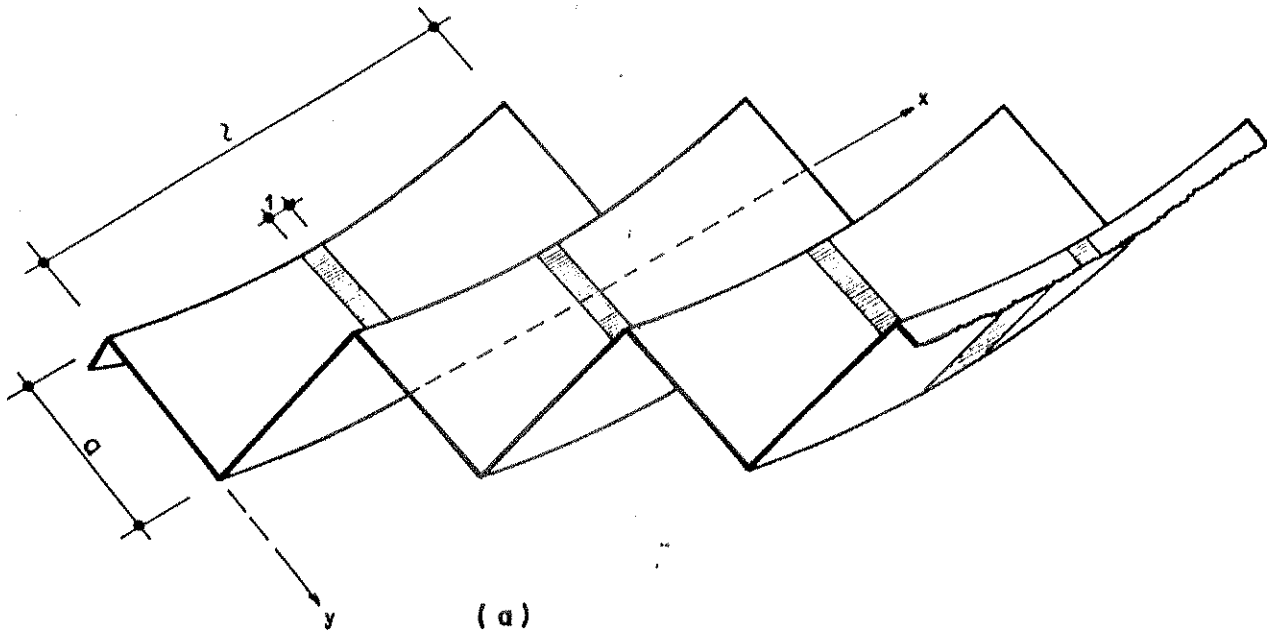


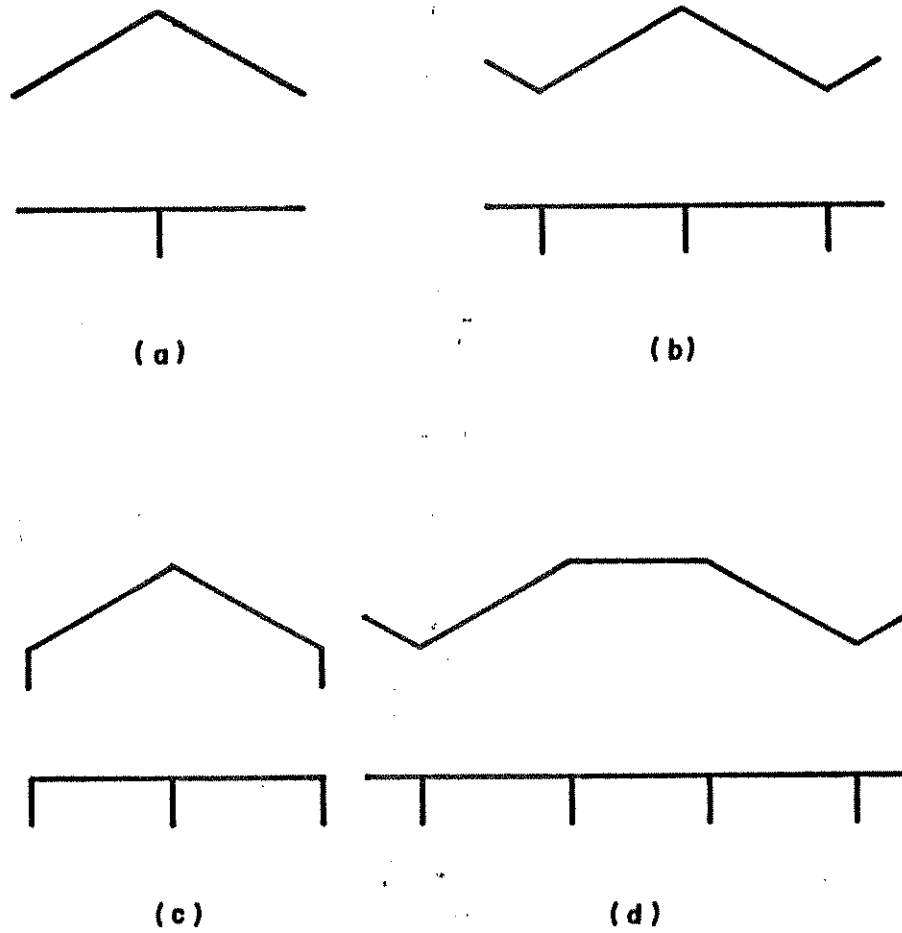
FIGURA 8:

Losa Plegada: (a) Cada losa de una placa plegada tiene una longitud " $L$ " mucho mayor que su ancho " $a$ ". La flexión ocurre solamente a través de su ancho. (b) Cada franja unitaria se comporta en flexión como una viga continua sobre apoyos rígidos sujeta a la acción de la componente normal de la carga.

*Momentos y cortes en la losa transversal dependen de un número y espaciamiento de bordes comunes de losas, en la dirección transversal. Secciones a través de cuatro unidades simples de planchas plegables son mostradas en la (figura 9). Abajo cada sección, es la losa transversal representada en la forma más familiar, con sus soportes o apoyos. La unidad de dos losas ya discutidas, tiene su losa en conjunto, balanceada sobre un soporte simple como se muestra en la (figura 9a). Si dos planchas pequeñas adicionales son agregadas (figura 9b y 9c), los momentos transversales en la losa son reducidos y aún cargas no simétricas pueden ser soportadas primeramente por acción de losa transversal y plancha longitudinal. La siguiente adición de una losa horizontal en la arista (figura 9d), permite un espaciamiento transversal de columnas y también reduce los momentos negativos en la losa.*

#### ***Cortes en Bordes Longitudinales:***

*Donde dos planchas adyacentes son continuas una con otra, en un borde común, en una arista, las cargas aplicadas en el borde común, son reacciones de la losa continua transversal, separada dentro de dos componentes, cada uno actuando en el plano de una plancha. Estos componentes o cargas causan presiones en las planchas plegadas paralelas al borde común. Desde que las planchas están monolíticamente conectadas, juntas en el borde común, estas presiones deben ser casi siempre las mismas. Deben así, estar actuando fuerzas cortantes horizontales a lo largo del borde común entre las dos planchas. Estas fuerzas cortantes deben de ser de tal magnitud y dirección, que la presión longitudinal a lo largo del borde es la misma cuando se computa desde cada una de las planchas, separadamente; y para cada plancha con cargas aplicadas en su propio plano también son estas fuerzas cortantes de bordes.*



**FIGURA 9:**

*Secciones Transversales de cuatro tipos de losas plegadas: (a) Losa plegada de dos unidades, (b) Losa plegada de cuatro unidades, (c) Losa Plegada de cuatro unidades, (d) Losa Plegada de cinco unidades.*



### ***Traslaciones de Bordos de Planchas***

*Hay un rasgo adicional de la acción estructural el cual debe de ser considerado. Por su acción de viga, debido a los componentes de carga y por el borde de fuerzas cortantes, las planchas deflektan en sus propios planos. En una unidad sencilla de cinco planchas plegadas, bajo carga uniforme, todas las planchas, excepto la plancha de arista horizontal, deflektan en sus propios planos en una dirección hacia abajo.*

*Por carga simétrica, las deflexiones de planchas varían de cero a los soportes máximos en medio de cada tramo, las correcciones de momentos debida a deflexiones variarán similarmente. El cambio en momentos de losa debido a deflexiones del borde la plancha, podrían ser grandes y deben siempre ser considerados.*

### ***Condiciones de Soporte***

*Cada plancha es más bien dicho una delgada viga de concreto reforzado, la cual debe librar su reacción a sus soportes extremos. Es aconsejable llevar la reacción como corte a lo largo del borde corto de la plancha en el soporte. Esto también puede ser hecho soportando la estructura de la plancha plegada sobre marcos rígidos, constante de columnas y miembros más altos, los cuales son en efecto varillas endurecidas sobre las planchas.*

### **Resultados del Análisis**

*Los resultados a ser obtenidos de el análisis estructural, son los momentos transversales y cortes en la losa, la presión plegable longitudinal y corte de extremo entre las planchas y sus soportes, y las deflexiones verticales de la estructura de techo.*

*Las presiones longitudinales y la presión cortante en las planchas, podría ser combinada, para obtener la dirección y la magnitud de las principales presiones de tensión en las porciones extremas del espacio.*

### **3.3 Diseño del Refuerzo:**

*El refuerzo para la losa plegada consiste en:*

*Una capa de malla hexagonal de 1/2", y además armadura de acero con hierro No. 2, colocado longitudinal y transversalmente, dependiendo su separación de la longitud de la losa plegada, y a experiencias anteriores de otros autores, determinándose la separación más adecuada.*

*El diámetro de la varilla fue escogida debido a las siguientes circunstancias:*

- *Que permitiera dobleces fáciles*
- *Que el espesor de la losa permitiera mantenerlo*
- *Que tuviera un costo bastante cómodo.*

## **IV. ESTUDIO TEORICO-EXPERIMENTAL**

### **4.1. Diseño de modelos de losas plegadas**

*El momento transversal y cortes determinan el acero del tope y fondo de la losa. La plancha o membrana presionada determina el acero de la plancha, el cual podría ser una sencilla capa, siguiendo al modelo de esfuerzos principales de tensión o a sistemas ortogonales de dos capas. Esto podría ser notado, puesto que, a través del análisis de la plancha, el concreto es asumido como un material homogéneo, material no agrietado, el acero de plancha es seleccionado y ubicado para proveer las fuerzas de tensión que el concreto no puede resistir.*

#### **4.1.1 Tipos de Mallas**

*En este trabajo de tesis se describen y comparan los tipos y cantidades de mallas que pueden ser utilizadas como refuerzo para las losas plegadas, dependiendo de las características físico-mecánicas del ferrocemento.*

*Con la investigación que se ha realizado sobre este material, se determinó la conveniencia de la utilización de dos capas de malla hexagonal, ya que al utilizarse mayor número de capas, el aumento de la resistencia que se logra con seguir es mínimo, comparado con el incremento de porcentaje de refuerzo.*

*Se realizó un análisis económico, comparativamente con las cubiertas tradicionales, resultando muy económico; aclarando que, la malla hexagonal de refuerzo representa el 40% del costo total del elemento y es de fácil adquisición.*

*Por otro lado, parece no haber un considerable incremento en la resistencia de elementos reforzados con dos capas de malla hexagonal y una sola capa, ya que la falla está en función de el desentorche de la malla de refuerzo.*

*Debido al fenómeno de fallas, producido por la dirección del refuerzo según el entorchado de la malla y la dirección de la aplicación de la carga, debido a esto es importante profundizar la evaluación a mallas soldadas que evitaría la falla por desentorche del refuerzo.*

*Hay dos tipos de refuerzo que más abundan en nuestro medio y que permiten una mejor distribución del refuerzo. El primer tipo de refuerzo es la malla hexagonal de media pulgada (de gallinero), y el otro tipo es la cuadrada soldada de 1/2". (figura 10 y 11).*

*El sentido de la malla hexagonal contribuye a obtener mejores resultados, y la malla cuadrada soldada es indiscutiblemente la que presenta mayores esfuerzos.*

*La malla cuadrada soldada ayudó grandemente en la obtención de esfuerzos altos, podría pensarse que debido a esto es la más indicada para refuerzo en elementos de ferrocemento; sin embargo debido a su rigidez, producido por las soldaduras de las uniones, los esfuerzos máximos están asociados con fallas bruscas, lo cual no sucede con las mallas hexagonales.*

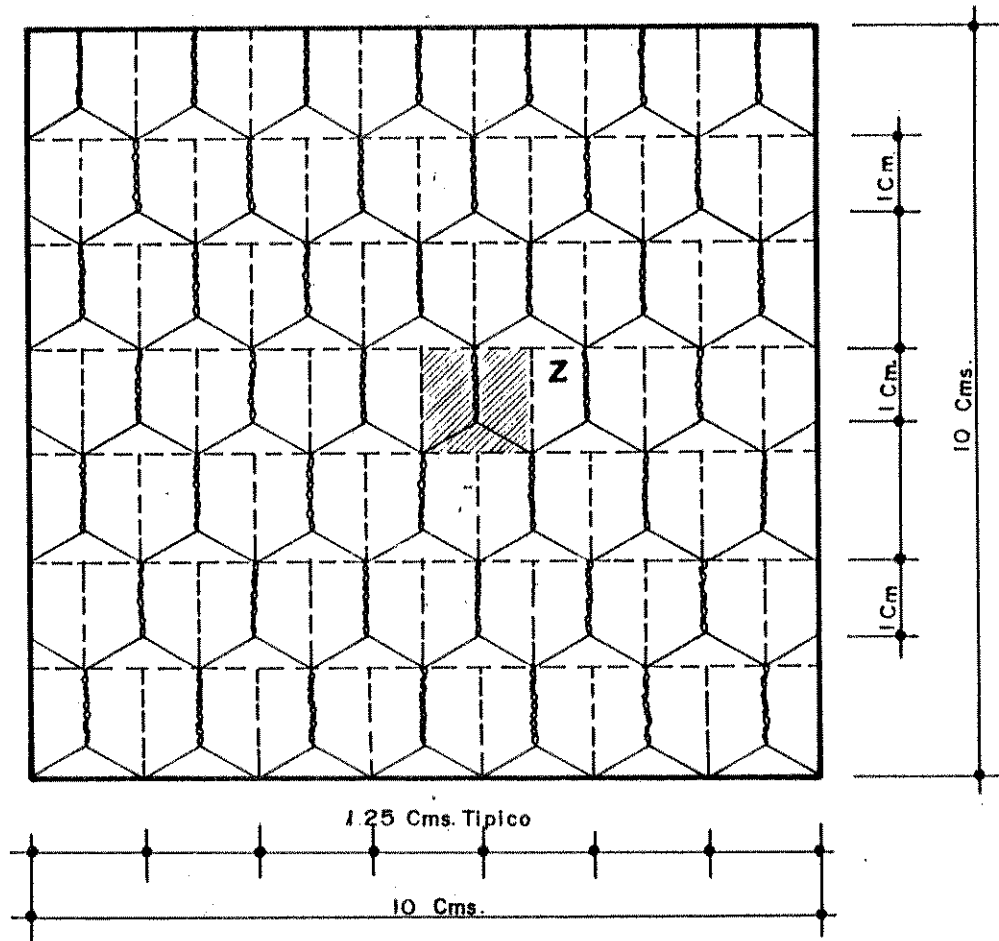
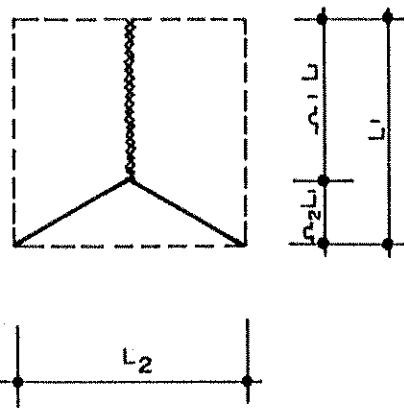
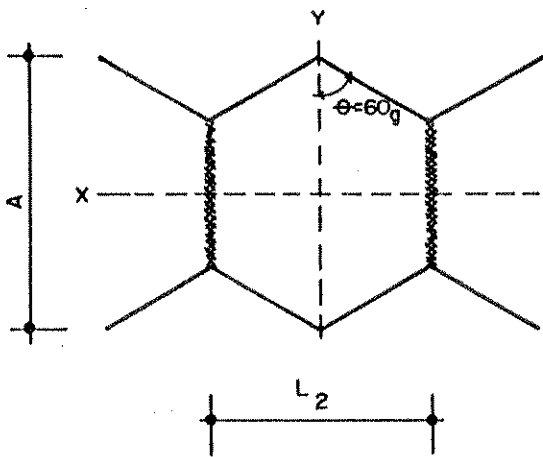
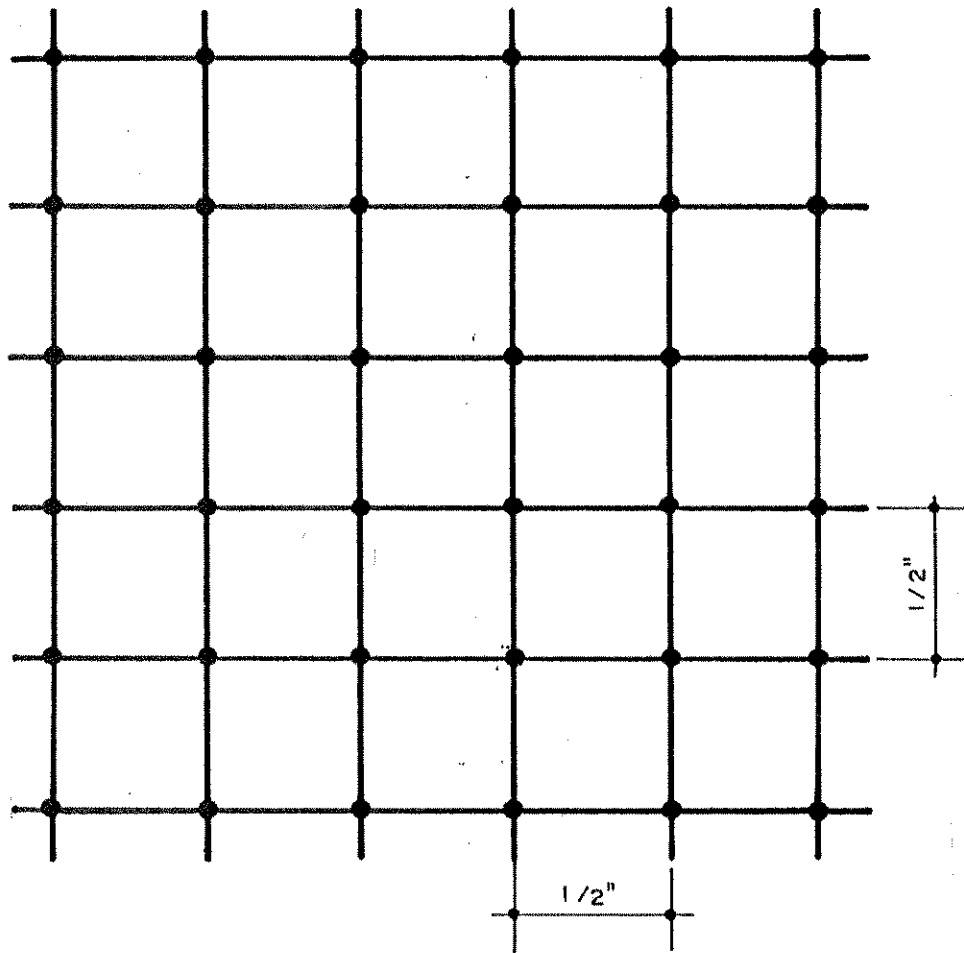


FIGURA 10:

Detalle y sección típica de malla Hexagonal de media pulgada.

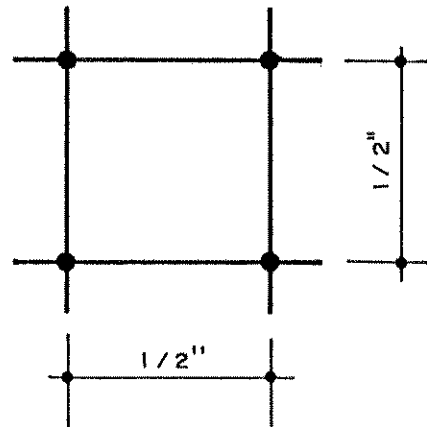
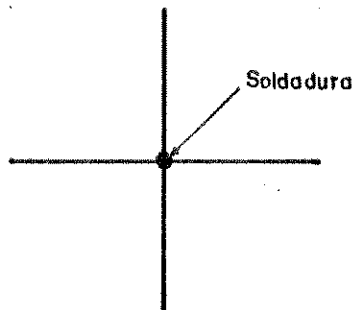


SECCION TIPICA REPETITIVA  
DETALLE Z



**FIGURA 11:**

*Detalle y sección típica de malla Cuadrada soldada de media pulgada.*



**Sección Típica Repetitiva**

*Por otro lado, el costo de la malla cuadrada soldada es 2.2 veces mayor que el costo de la malla hexagonal.*

*Analizando conjuntamente los parámetros de costo y resistencia, se estima que no hay una notable diferencia entre el uso de los dos tipos de mallas, por lo que en nuestro país es más rentable el uso de la malla hexagonal de 1/2" que la malla cuadrada de la misma medida.*

*La malla hexagonal de 1/2" tiene las siguientes características:*

-	<i>Separación del entorchado</i>	<i>1.25 cm</i>
-	<i>Diámetro de alambre</i>	<i>0.065cm</i>
-	<i>Area de Alambre</i>	<i>0.00332cm<sup>2</sup></i>
-	<i>Esfuerzo de fluencia(fs)</i>	<i>2180 kg/cm<sup>2</sup></i>
-	<i>Esfuerzo máximo promedio</i>	<i>3919.7 Kg/cm<sup>2</sup></i>
-	<i>Peso por unidad de superficie</i>	<i>0.60kg/cm<sup>2</sup></i>
-	<i>Número de alambres por unidad de longitud</i>	<i>151/m</i>

*El incremento de la resistencia a flexión usando una o dos capas de malla hexagonal no es considerable si se toma en cuenta el aumento que se produce en el costo.*

## 4.2. Ensayo de Elementos

*El propósito de ensayar elementos es el de observar, tabular y evaluar su comportamiento a flexión al aplicarle una serie progresiva de cargas, para determinar su agrietamiento máximo por flexión, además la carga máxima resistente, etc; y así determinar la mejor estructura para un fin particular, su capacidad de soportar cargas, y su costo.*

### 4.2.1. Descripción de Elementos

*Descripción de la losa plegada:*

<i>Largo (L).....</i>	<i>420 cms.</i>
<i>Ancho (b).....</i>	<i>300 cms.</i>
<i>Long. pliegue(a).....</i>	<i>50 cms.</i>
<i>Espesor(t).....</i>	<i>2 cms.</i>
<i>Inclinación respect. horizontal.....</i>	<i>45°</i>
<i>Alto del perfil (h).....</i>	<i>50 cms.</i>

*Los detalles geométricos de la sección del elemento investigado se presentan en la figura ( 12 )*



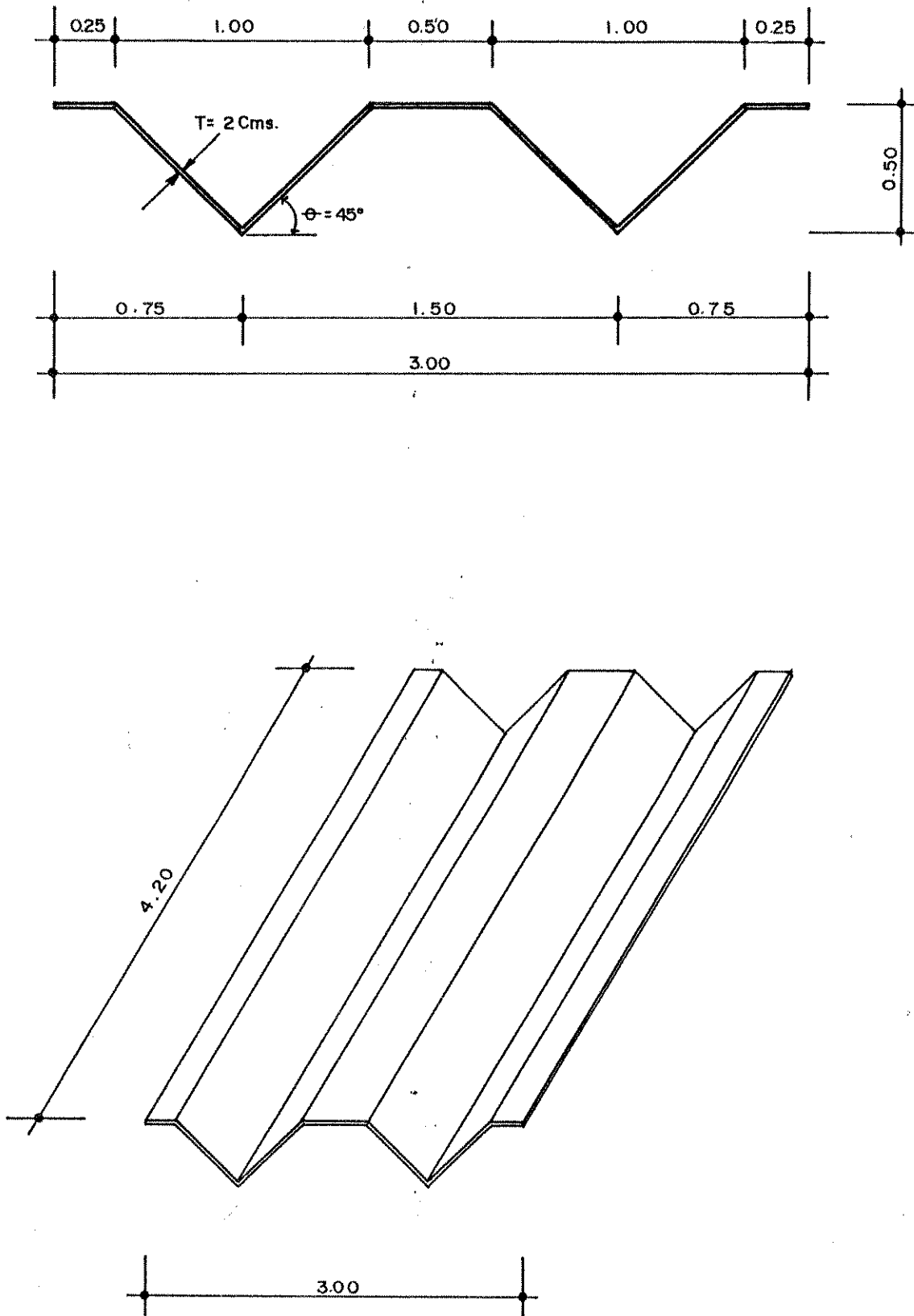


FIGURA 12:

*Detalles geométricos del elemento investigado.*

#### **4.2.2. Procedimiento Constructivo**

*El procedimiento utilizado en la construcción de la losa se sintetiza en los siguientes pasos: (ver anexos)*

##### **1. Area de Trabajo:**

*El área de trabajo que se eligió para la construcción y ensayo de las losas, estaba bien nivelada y apropiada para el ensayo. El área que se destinó para ellos fue el área de prefabricados, perteneciente al Centro de Investigaciones de Ingeniería para trabajos de investigación.*

##### **2. Construccion de muros**

*Muros de mampostería reforzada fueron utilizados para apoyar las losas plegadas, como se muestra en la figura (13 y 14), se construyeron dos muros de tres metros de largo, con block de 15x20x40 cm, se dejó una luz libre entre muros de tres metros con noventa centímetros. Para la construcción de los muros se hicieron trabajos preliminares como trazo, nivelado, estaqueado y excavación de 10 cm en el terreno, armadura, levantado de muros con block y fundición de cimientos, pines y soleras.*

### **3. Preparación de la formaleta**

*Se utilizó como formaleta planchas de plywood, para facilitar su fundición, se apoyaron sobre una estructura de madera de fácil desmontaje, la cual llenó los requisitos de resistencia y durabilidad, antes, durante y después de la fundición.(fig. 15,16,17 y 18).*

*Antes de proceder a la fundición se aplicó, con brocha, una capa de desencofrante, para evitar la adherencia del mortero con la formaleta. Se utilizó una franja de polietileno, para evitar el apareamiento de fisuras o grietas en la unión de la formaleta con los muros de apoyo.*

### **4. Armado y colocación de refuerzo**

*El refuerzo de 1/4" de diámetro se colocó en el sentido longitudinal de la losa, para ayudar al tensado de la malla, uniéndose con las transversales por encima de éstas con alambre de amarre. El refuerzo transversal se preparó fuera de la formaleta para hacerle los dobleces y darle la forma correspondiente de la losa.*

### **5. Colocación y tensado de la malla**

*Al colocar la malla la orientación del entorchado se colocó paralelo a los apoyos, para favorecer la resistencia a la flexión y obtener resultados óptimos. Extendiéndose la capa de malla sobre la formaleta, con la ayuda del refuerzo longitudinal, para que la malla se mantenga fija sobre los pliegues de la formaleta. Luego se extendió una segunda capa de malla, en zonas críticas de la losa.*

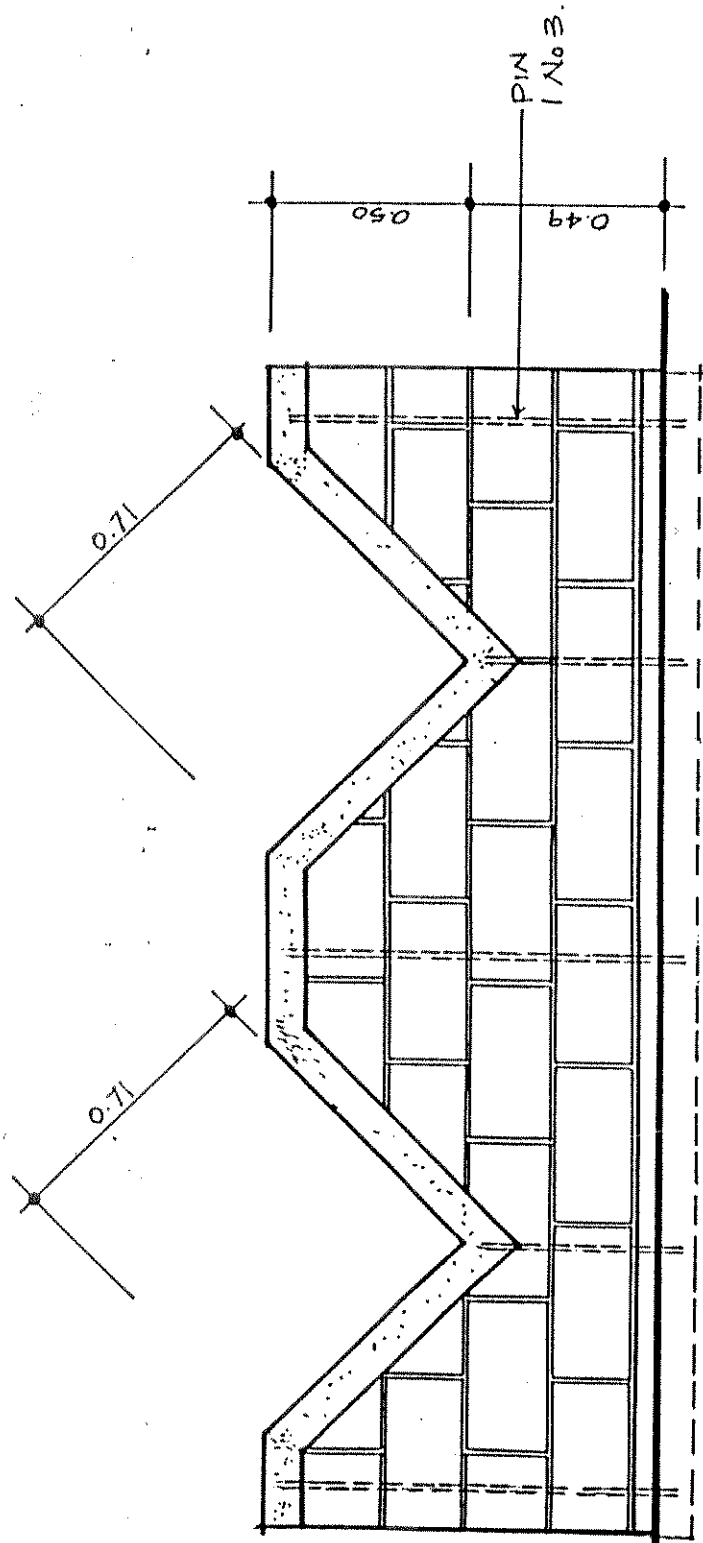
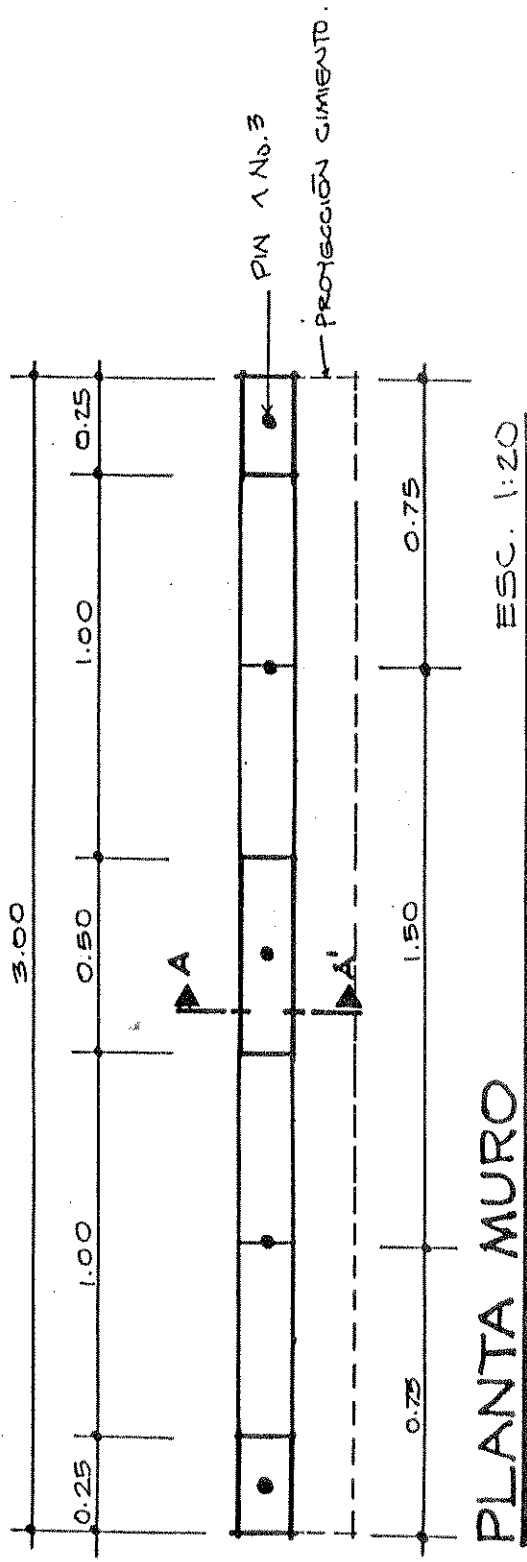
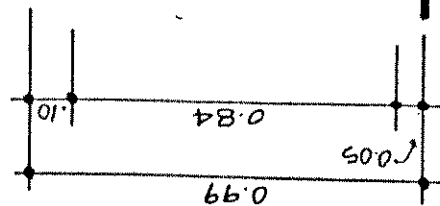


FIGURA 13 Detalle de la construcción de muros para apoyo de la Losa Plegada.

0.15



ELEVACION MURO

ESC. 1:20

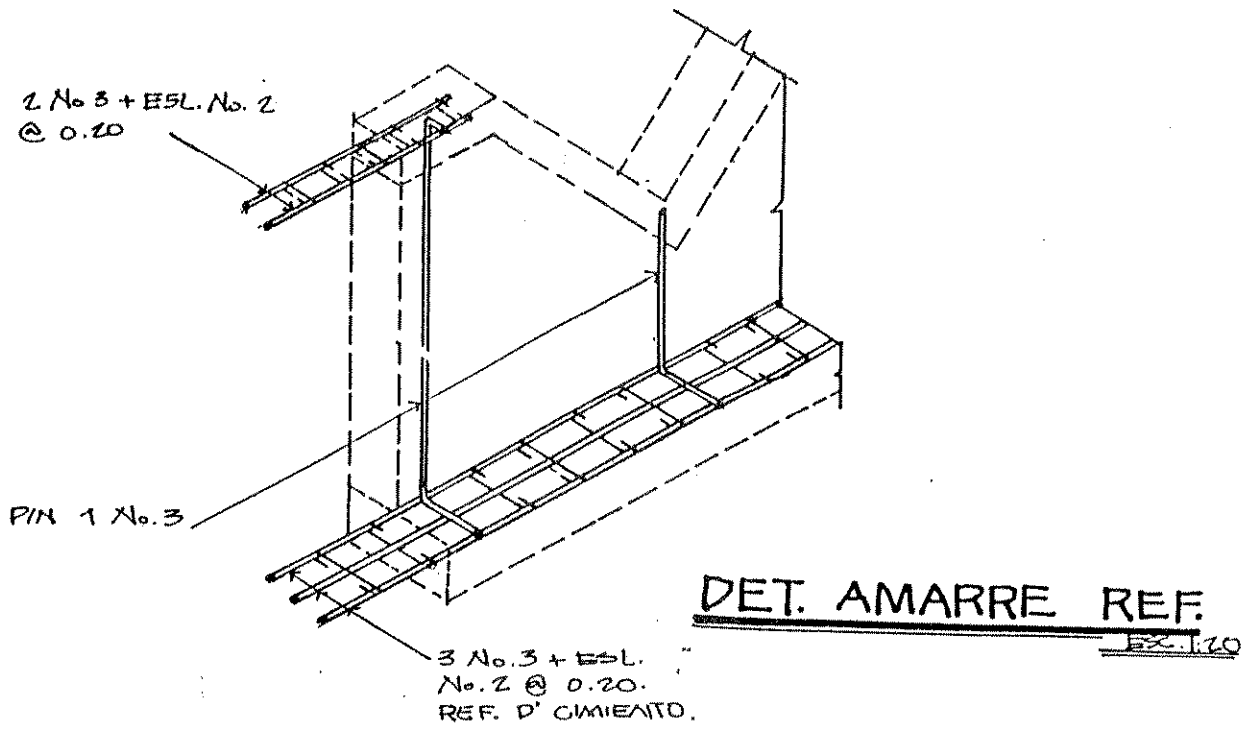


FIGURA 14:

**ELEVACION ARMADURA** ESC. 1:25

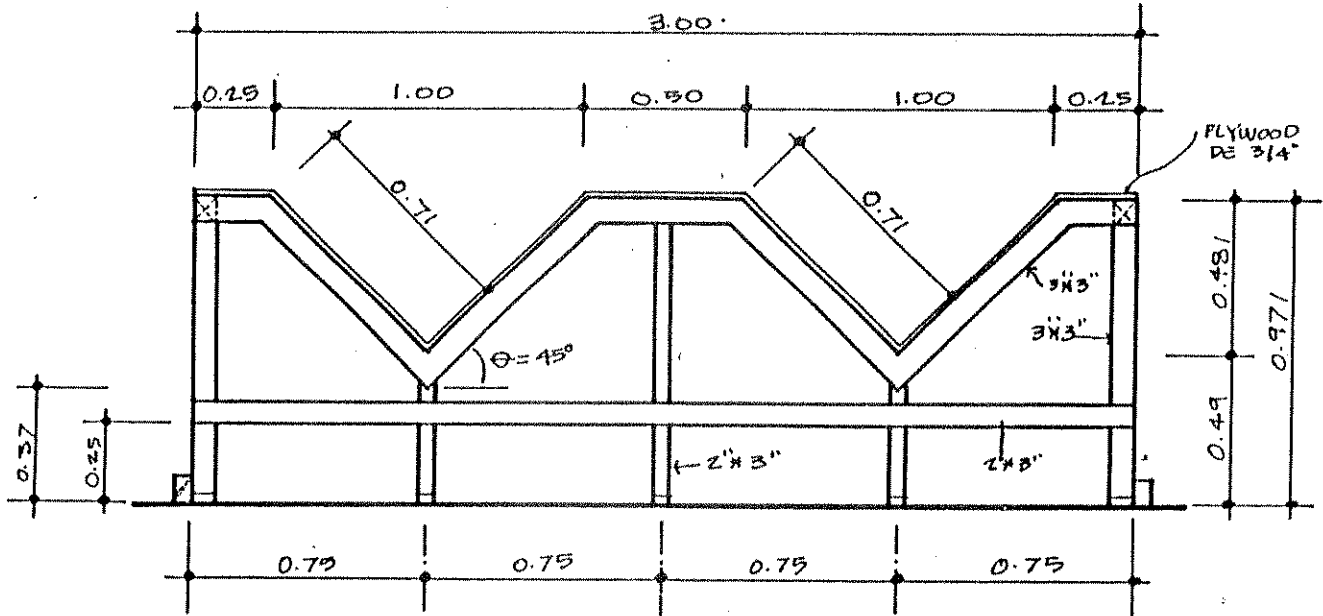
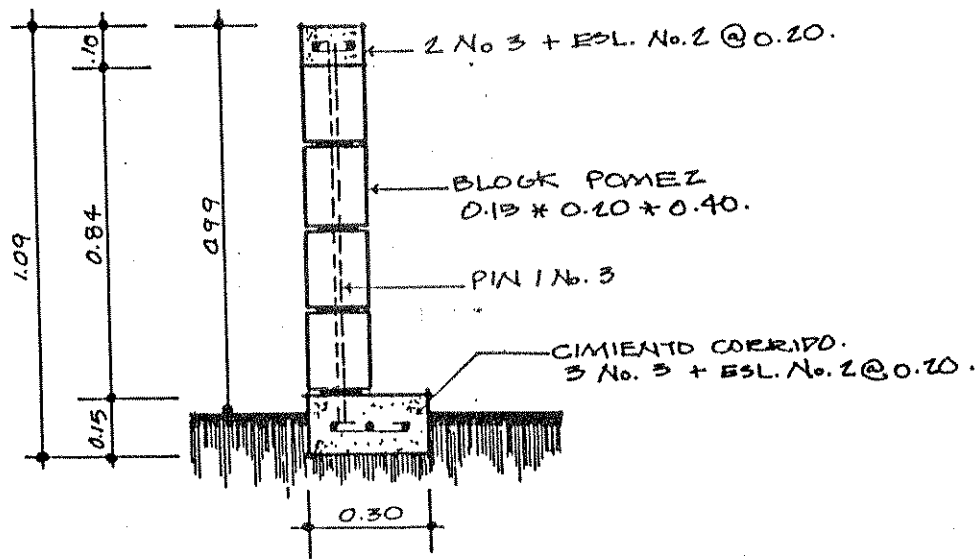


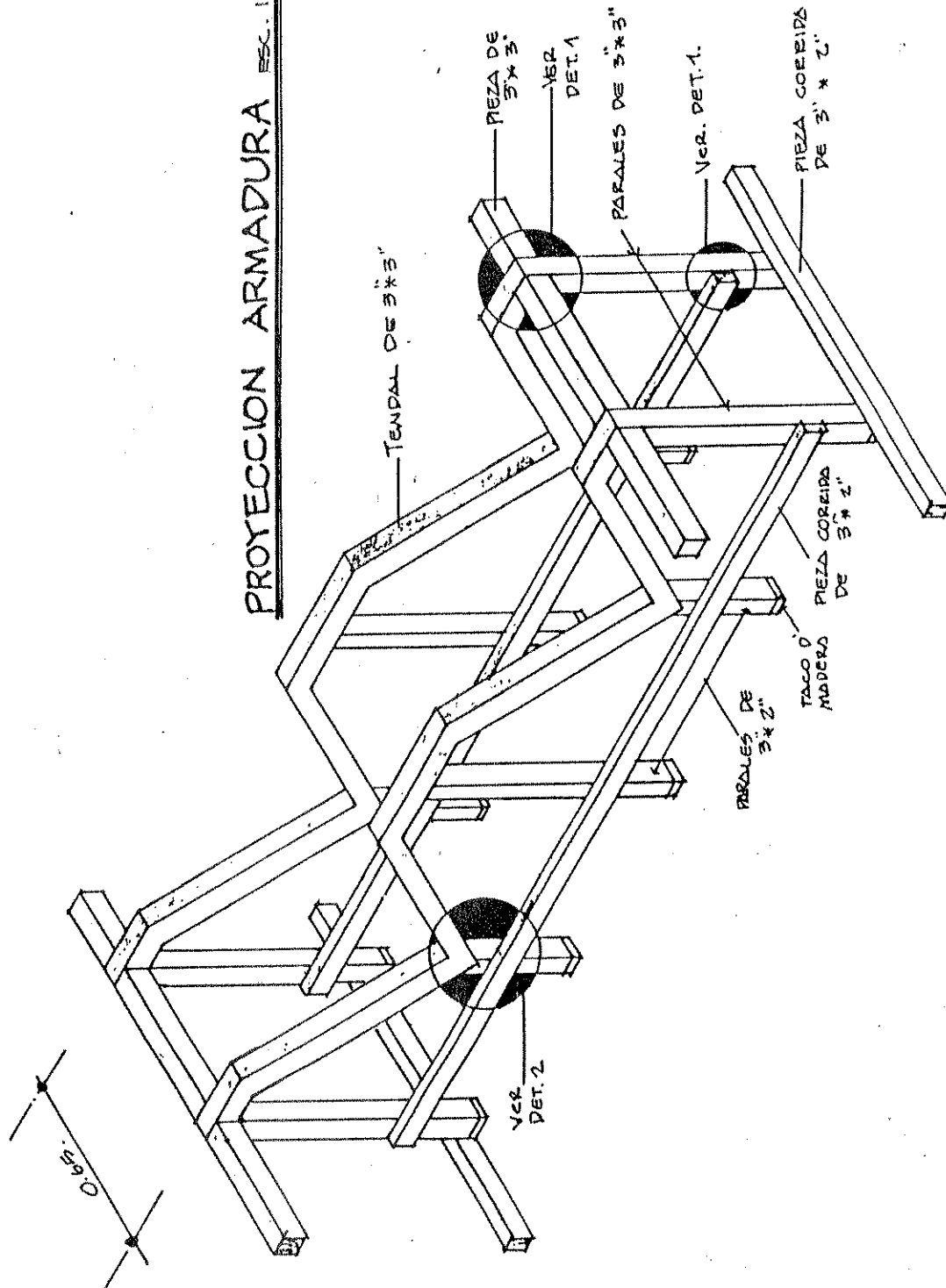
FIGURA 13



**SECCION A-A'** ESC. 1:20

FIGURA 14:

# PROYECCION ARMADURA ESC. 1:25



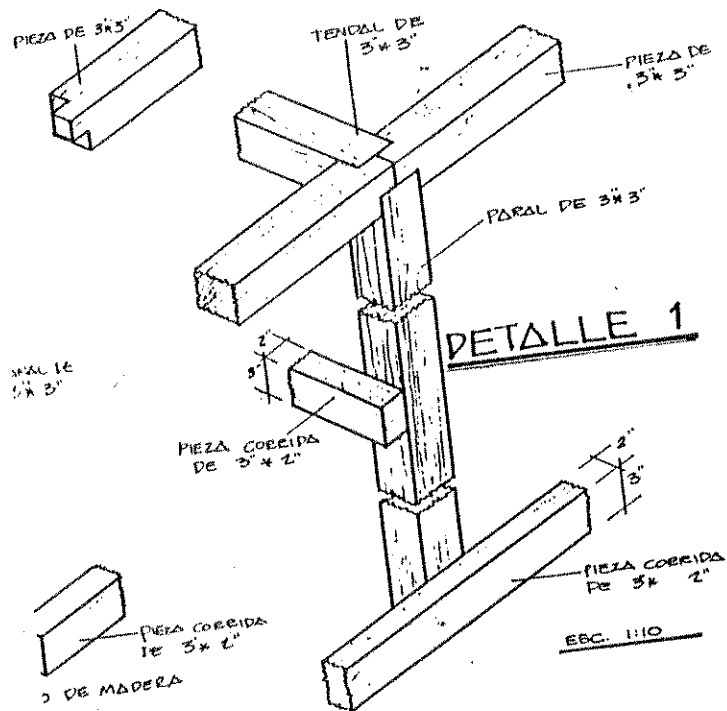
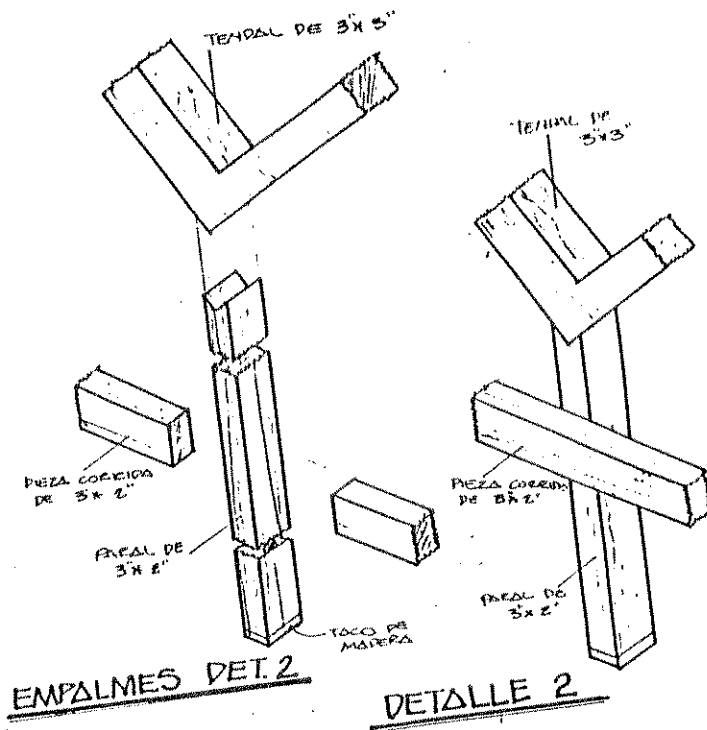


FIGURA 17



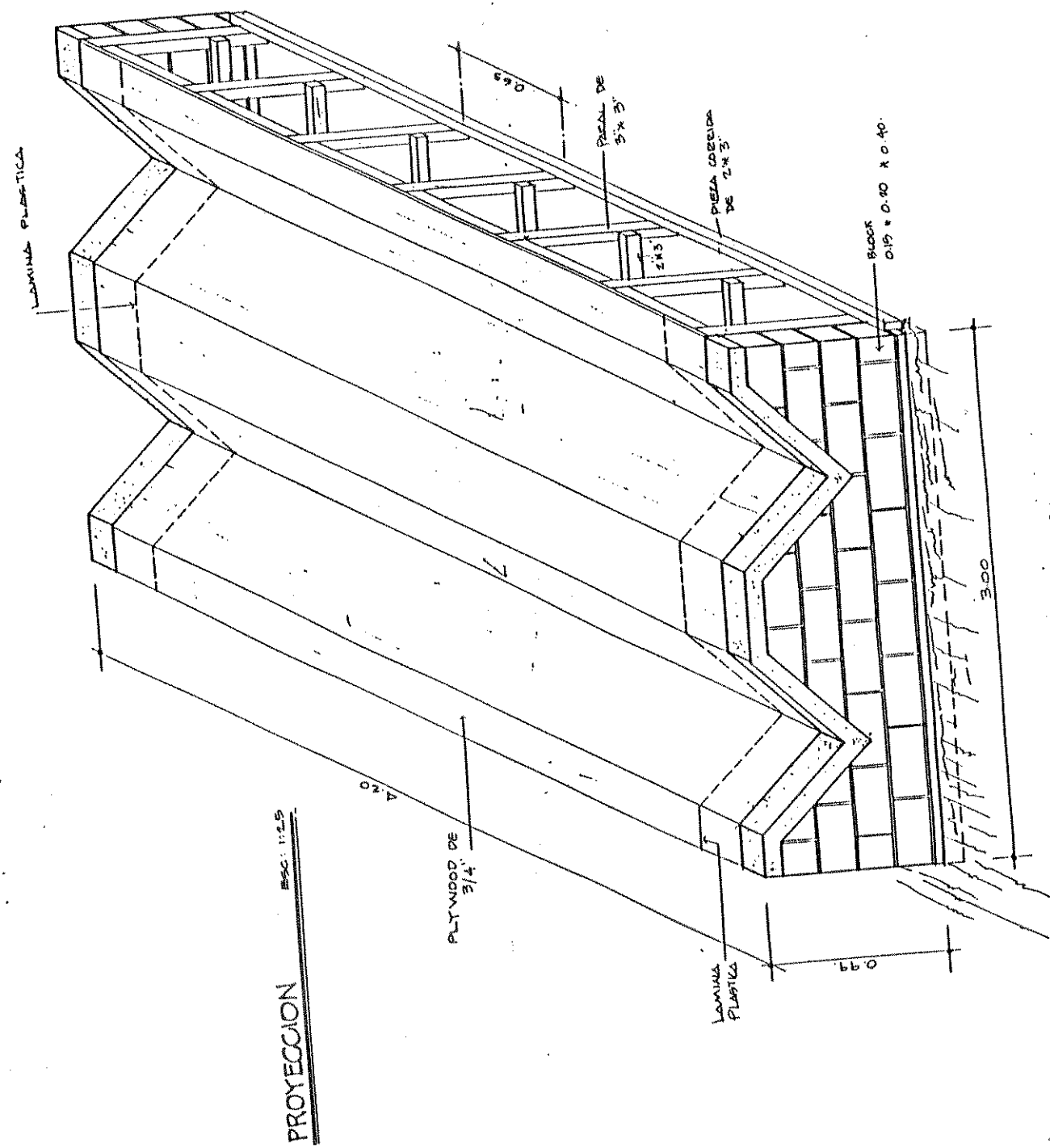


FIGURA 18

## 6. Preparación del Mortero

La proporción en peso de la mezcla para el mortero de arena fue de 1:2.5, con una relación agua/cemento igual a 0.45, para obtener una trabajabilidad adecuada del mortero, para que al secarse tenga las características de buena calidad, resistencia e impermeabilidad.

El asentamiento del mortero no debe exceder de 5cm. con una resistencia a la compresión a los 28 días de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

El cemento usado es del tipo portland, el cual debe estar fresco y sin la presencia de terrones o cualquier materia extraña.

La arena debe cumplir, las condiciones de limpieza, debe estar libre de impurezas orgánicas y otras sustancias que puedan afectar la resistencia del mortero. La graduación de la arena debe ser la adecuada para producir una distribución uniforme del agregado, y una alta densidad, para que el mortero tenga trabajabilidad y no se produzca segregación. El 100% de la arena debe pasar por el tamiz número 8; la arena debe cumplir la norma Coguanor NC-054-001, debe ser limpia, resistente y libre de impurezas orgánicas y sustancias deteriorantes.

El agua debe estar libre de impurezas para que no se altere el proceso de fraguado del mortero. El agua se añade gradualmente para formar una pasta uniforme,

y mantener la relación agua/cemento adecuada, para obtener propiedades mecánicas uniformemente en toda la estructura.

### **7. Colocación del Mortero**

Durante la fundición de la losa plegada se tuvo el cuidado que el mortero, fuera colocado con precisión para que penetrara bien por los espacios de la malla, para lo cual fue necesario la utilización de cucharas de albañil y así evitar dejar espacios vacíos (ratoneras), que produzcan una disminución en la resistencia estructural y filtraciones que provoquen corrosión al refuerzo, dando una mala apariencia a la losa. (ver anexos).

### **8. Curado**

Después de la fundición, se procedió a darle a la losa plegada un curado continuo con agua vaporizada; como la superficie expuesta en la losa de ferrocemento es excepcionalmente grande en relación con el volumen de material, debe ser apropiadamente curada una vez que el mortero ha tenido su fraguado inicial, lo que ocurre de 3 a 4 horas después de ser aplicado.

Los elementos de ferrocemento deben ser mantenidos húmedos por un tiempo que varía de acuerdo con las condiciones propias del lugar, siendo de 7 días en curado intensivo y de 15 días en curado normal.

*Para conservar la humedad las losas plegadas pueden ser periódicamente mojadas con agua vaporizada o cubiertas con mantas de un material que retenga la humedad (nylon), o con aserrín de madera mojada, etc.*

*El curado a vapor por sus conocidas cualidades puede también ser utilizado con grandes ventajas, principalmente en la producción de piezas prefabricadas. Este tipo de curado es conveniente en climas fríos y cuando es esencial un desarrollo rápido de la resistencia. Un mortero con baja relación agua/cemento responde mejor al curado a vapor que uno con relación alta.*

*La experiencia ha demostrado que el curado a vapor disminuye la contracción, aumenta el esfuerzo de compresión y da mayor vida al mortero. Cuando se usa este método, es recomendable esperar de 4 a 5 horas después de completada la colocación del mortero con el fin de esperar el fraguado final.*

*Durante el proceso de curado, la estructura completa debe ser cubierta con pliegos de plástico o nylon y las juntas selladas para prevenir la pérdida del vapor.*

*Esta etapa es de primordial importancia ya que de ella depende que el mortero alcance la resistencia requerida. Un mal curado disminuye el proceso de hidratación del cemento y su resistencia, y contrarresta el buen control que se haya tenido durante la construcción de las losas plegadas.*

### **9. Desencofrado**

*Para esta operación se diseñó un tipo de formaleta de fácil desmontaje, ya que esta etapa debe efectuarse con sumo cuidado para evitar que se produzcan esfuerzos de manipuleo que puedan dañar a los elementos.*

#### **4.2.3 Procedimiento de Carga**

*Para los criterios de evaluación de la prueba de flexión se siguió el procedimiento recomendado por el ACI, colocando 2 deformómetros para registrar la prueba.*

*La influencia de la malla hexagonal, combinada con varillas de acero grado 60, de diámetro igual 3.8mm, con la función de armado y en este caso de ayuda en el tensado de la malla hexagonal, aplicada en las losas plegadas de pared delgada en ferrocemento con respecto a la fuerza cortante, momento de flexión, deflexión y*

*desarrollo de grietas, es investigado por medio de el ensayo de flexión, mediante la aplicación de carga distribuida, por medio de arena de río sobre el área de la losa, previa nivelación, con incrementos sucesivos de carga, y lecturas en los deformómetros.*

*Luz libre entre apoyos.....390 cm*

*Carga de Diseño.....100kg/m<sup>2</sup>*

*Deflexión Máxima Permisible.....1.08cm ( $\delta = L/360$  más crítica)*

*Para el cálculo de la deflexión máxima bajo la aplicación de carga, si esta se llega a alcanzar, la losa debe lograr su recuperación al eliminar la carga, si no hay evidencia de falla , entonces el elemento se considera fallado y se concluye el ensayo.*

$$\delta = \frac{L^2}{20,000 h}$$

20,000 h

(METODO ACI)

P. ACUMULADA (Kg.)	DEFORMACION 45°(mm)
368	0.02
736	0.06
1104	0.08
1472	0.11
1662.8	0.13
2044.4	0.18
2426	
2562.05	
2707.17	
2877.24	

## RESULTADOS

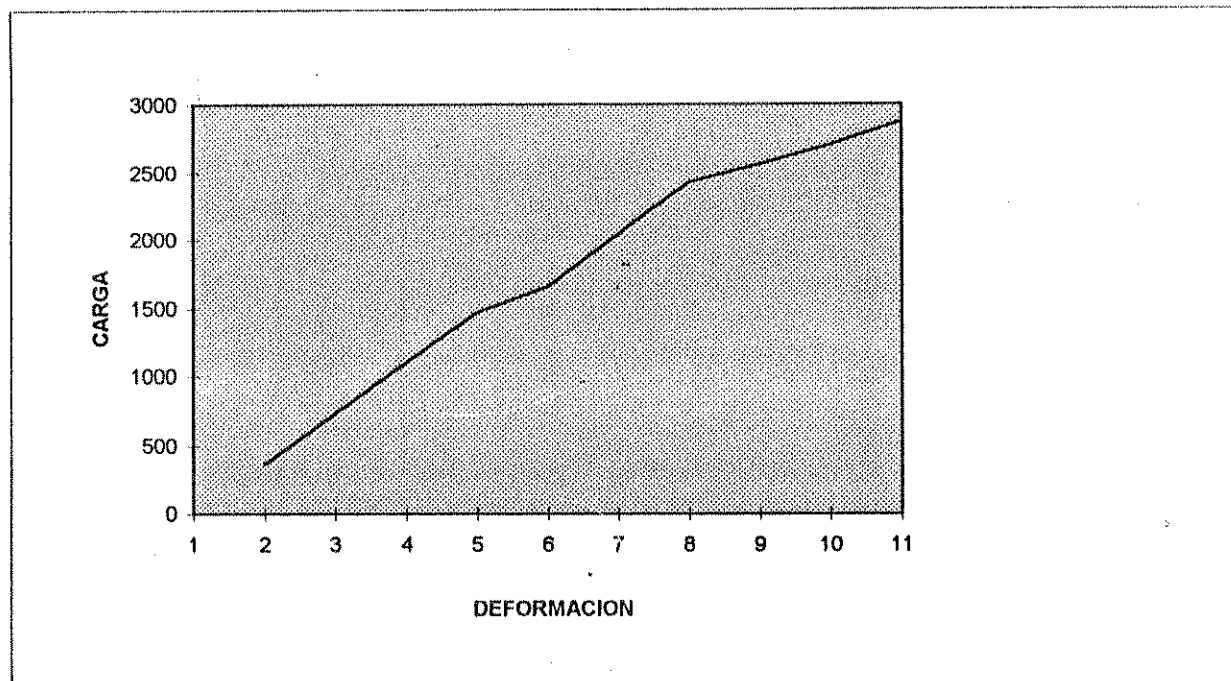


TABLA 1

P. ACUMULADA (Kg.)	DEFORMACION VERTICAL
368	0.08
736	0.18
1104	0.25
1472	0.335
1662.8	0.39
2044.4	0.56
2426	0.85
2562.05	0.93
2707.17	1.06
2877.24	1.12

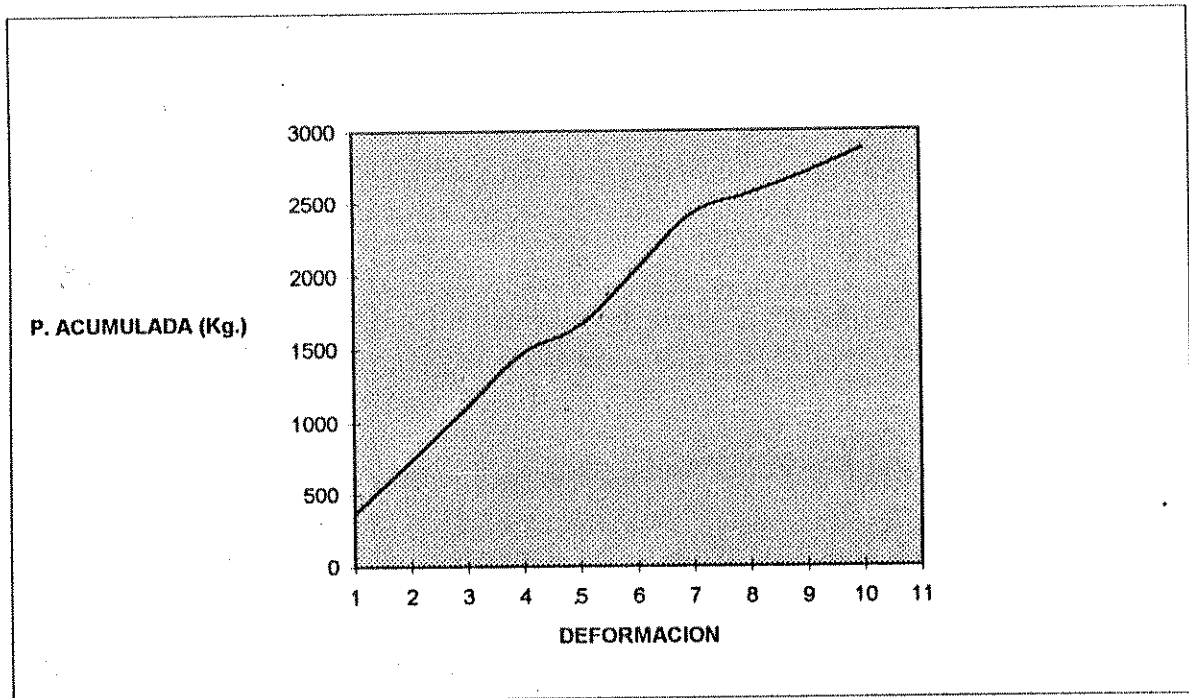


TABLA 2



## CARGA PRIMERA GRIETA

ESFUERZO (Kg./cm <sup>2</sup> )	DEFORMACION VERTICAL (mm)
0.48	0.02
0.96	0.18
1.44	0.25
1.92	0.335
2.165	0.39
2.66	0.56
3.16	0.85
3.34	0.93
3.52	1.06
3.75	1.12

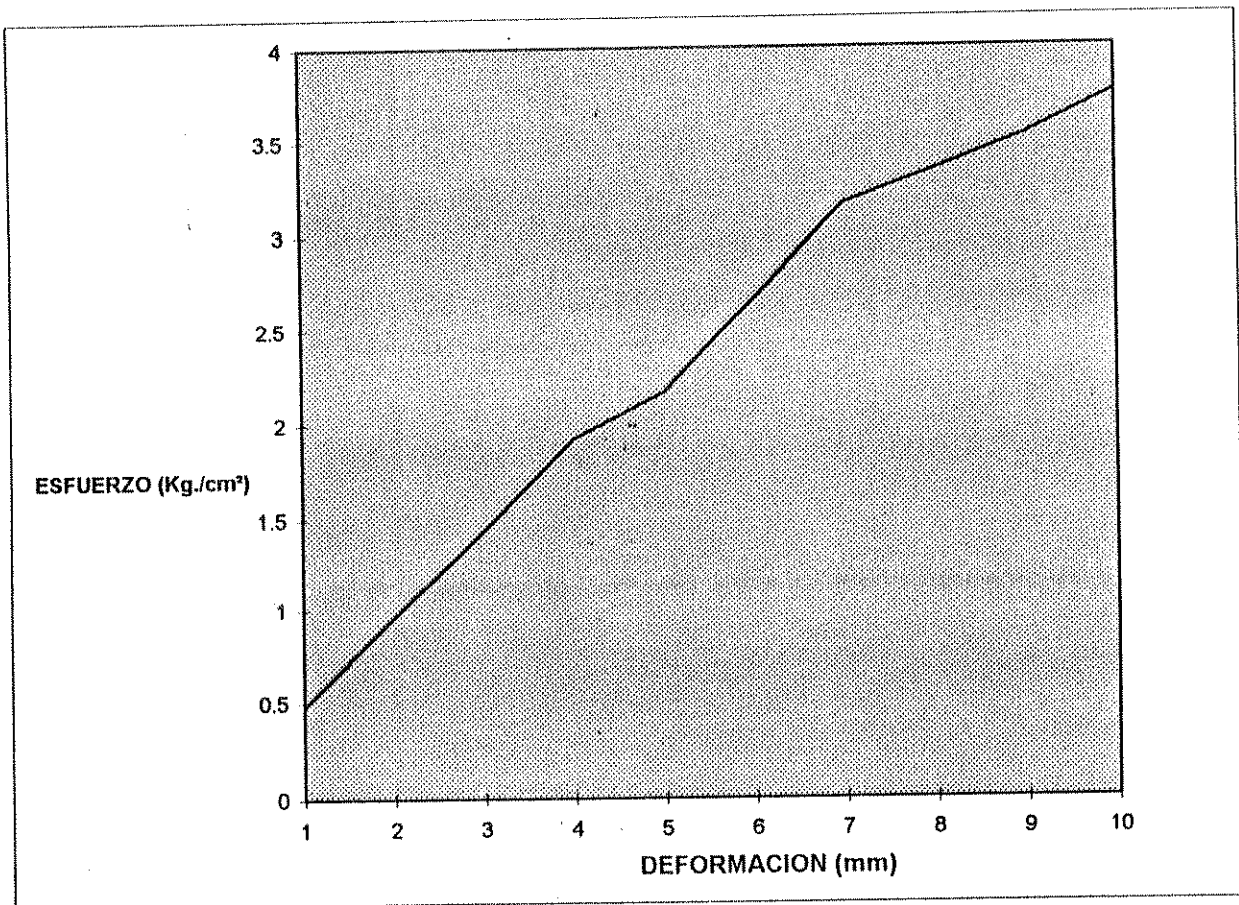


TABLA 3

ESFUERZO	DEFORMACION VERTICAL
(Kg./cm <sup>2</sup> )	(^DEFLEXION)
	(mm * 10 <sup>-2</sup> )
4791.67	8
9583.33	18
14375	25
19166.67	33.5
21651.04	39
26619.79	56
31588.57	85
33360.03	93
35249.61	106
37464.06	112

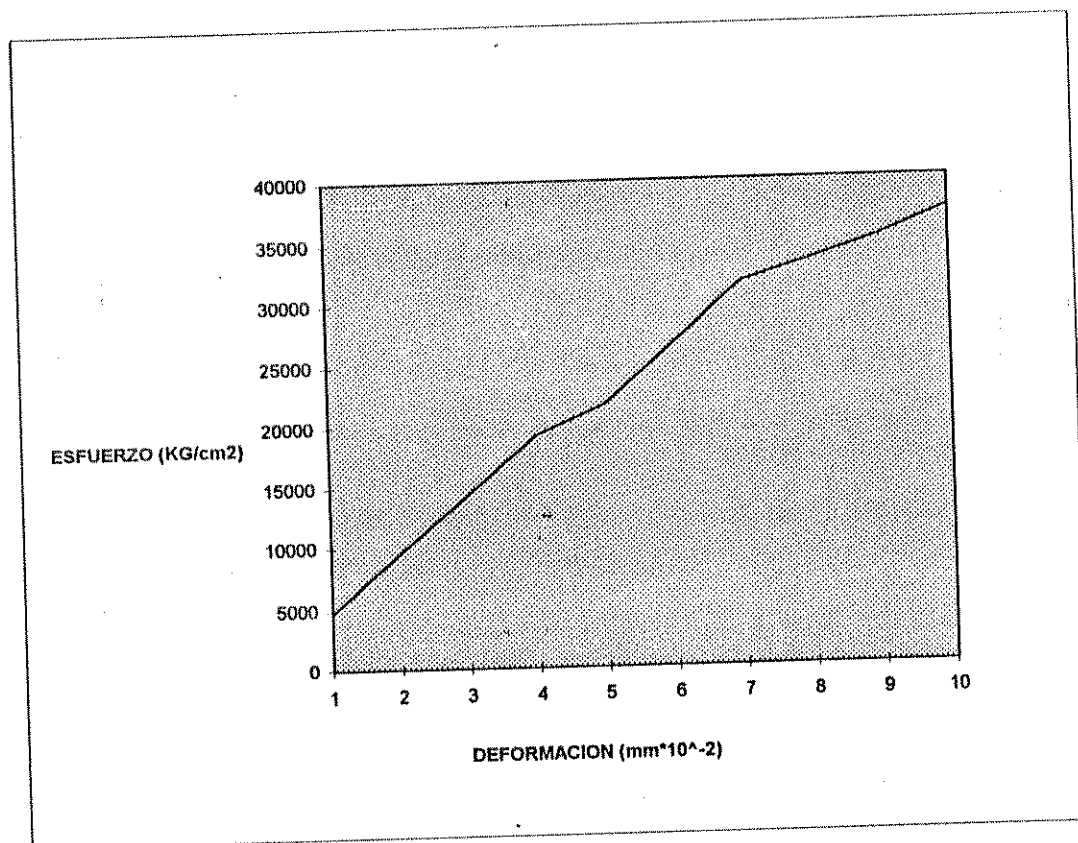
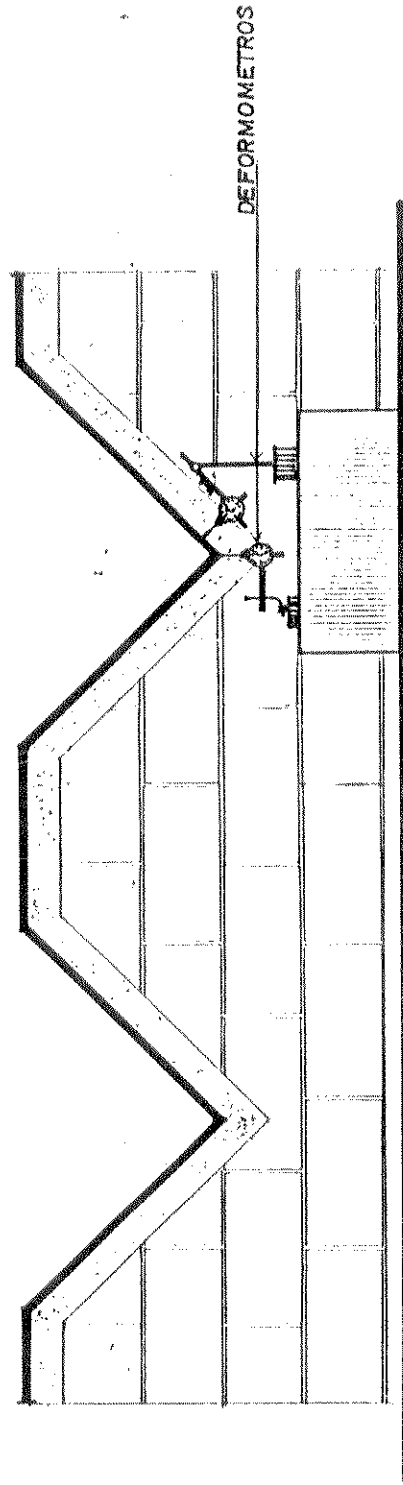


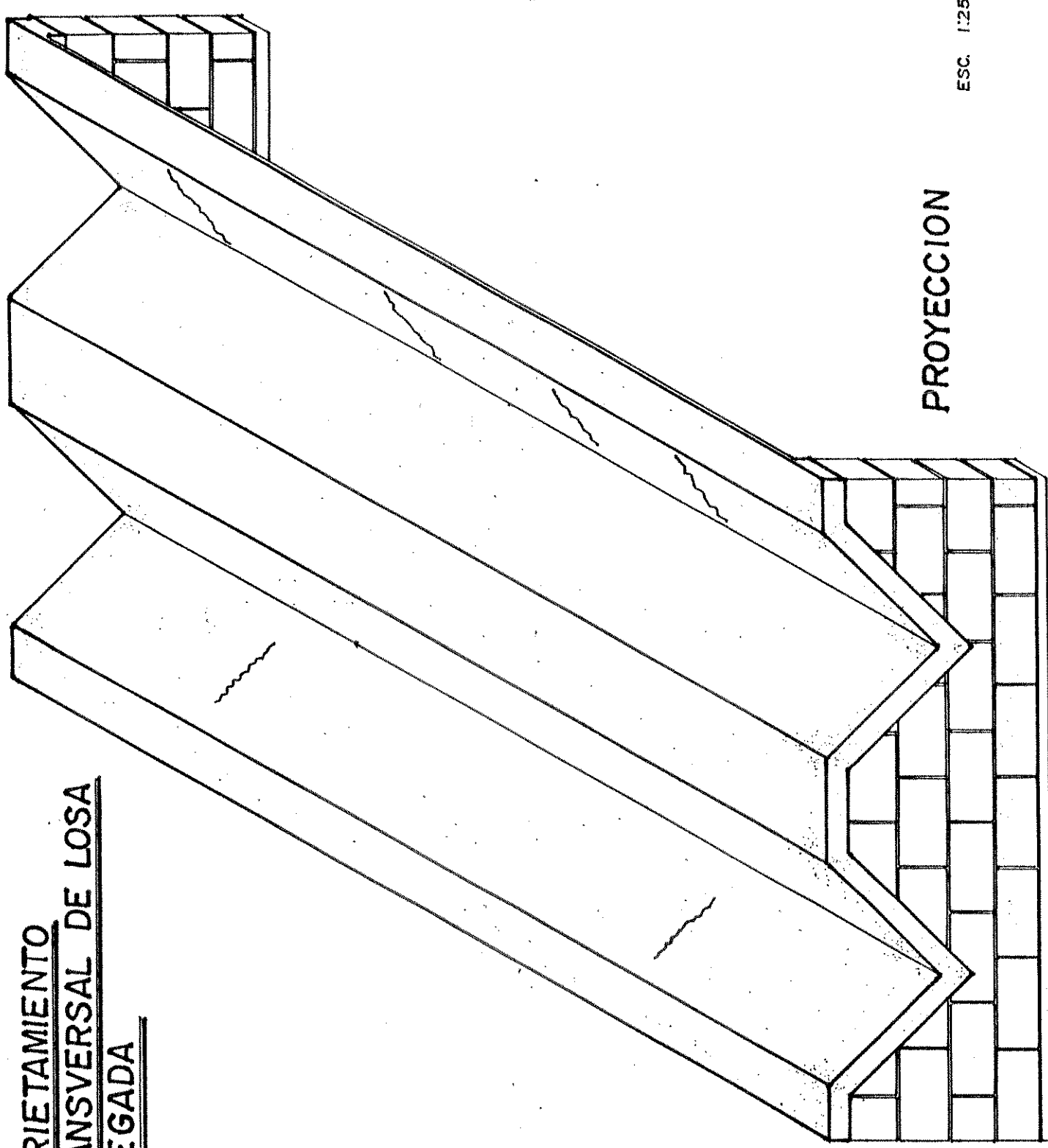
TABLA 4

COLOCACION DE DEFORMOMETROS



ELEVACION

ESC. 1:20



AGRIETAMIENTO  
TRANSVERSAL DE LOSA  
PLEGADA

PROYECCION

### 4.3 Análisis de resultados

*Las deflexiones anotadas corresponden al centro de la luz, con un deformómetro para registrar la deformación vertical y otro que registre la deformación a 45°.*

*La curva esfuerzo deformación, muestra un comportamiento típico de la losa plegada, caracterizándose por una deflexión casi lineal.*

*La losa plegada de ferrocemento construida a base de arena de río, se comportó con gran rigidez, debido teóricamente a el gran momento de inercia que tuvo y experimentalmente a la poca deflexión registrada en los deformómetros.*

*Los resultados del ensayo fueron satisfactorios totalmente para cargas de 100 kg/m<sup>2</sup>, para cubiertas inaccesibles.*

*Se observó el aparecimiento de grietas en la cara exterior inclinada, las primeras en el centro del claro y las siguientes distribuidas a lo largo de los dos cuartos exteriores de la losa.*

*Debido a la gran capacidad de soporte de la losa, los esfuerzos en la malla y el acero no llegaron a desarrollarse en un cien por ciento, por lo que no se llegó a la falla por flexión.*

*La losa pasó la prueba sin muestras de falla de gran consideración, y que fuera muy visible.*

*La prueba de permeabilidad en la losa realizada en el medio ambiente, y en temporada lluviosa, no mostró filtraciones, solo indicios de humedad leve en un 40%, no formandose goteo.*

#### ***4.4 Propuesta de procedimiento de diseño***

*Cualquier recomendación relacionada con el diseño de losas plegadas de ferrocemento dependerá del tipo de aplicación y deberá estar basada en un análisis racional a partir de los resultados de los ensayos.*

*El procedimiento de diseño para losas plegadas de ferrocemento sometidas a cargas de flexión pura es el siguiente:*

- a) Chequear la relacion volumen de acero/volumen de mortero y la superficie especifica total del refuerzo como se indica en el capítulo tres.*
- b) Chequear el recubrimiento mínimo recomendado para el refuerzo.*
- c) Chequear el espesor del material, conforme a parámetros establecidos en el capítulo tres..*
- d) Determinar la altura de compresión y la altura de tensión con la formula siguiente:*

$$a = A_s * F_y / 0.85 * F'c * b$$

$A_s =$  número de alambres por metro lineal \* el área de el alambre.

$$A_s = 15 \text{ alambres/metro lineal} * 0.00332 \text{ cm}^2.$$

$$A_s = 0.50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$F_y = 2180 \text{ Kg/cm}^2$$

### **Análisis Longitudinal**

$$P \text{ acumulada} = 2,877.24 \text{ Kg}$$

$$W = 2877.24 \text{ Kg}/390 = 7.38 \text{ Kg/cm (Sobrecarga)}$$

$$\text{Peso Propio de la Losa} = 3.84 * 4.20 * 0.02 * 2400 = 774.14 \text{ Kg.}$$

$$W = 774.14 \text{ Kg}/390 \text{ cm} = 1.98 \text{ Kg/cm (Peso Propio)}$$

$$W \text{ Total} = 7.38 \text{ Kg/cm} + 1.98 \text{ Kg/cm} = 9.36 \text{ Kg/cm}$$

$$M = w l^2 / 8$$

$$M = \frac{936 \text{ Kg/m} * (3.9)^2}{8} = 1,779.57 \text{ Kg.m}$$

8

Para  $b = 100 \text{ cm}$

$$a = A_s * f_y / 0.85 * f'c * b \quad ; \quad A_s = M_u / \phi * f_y (d - a/2)$$

$$a = A_s * (2180) / 90.85 * 210 * 100 = 0.12 A_s$$

$$A_s = 177957 / 0.9(2180)(49 - a/2) = 90.70 / 49 - a/2$$

<u>a</u>	<u>A<sub>s</sub></u>	<u>a</u>
----------	----------------------	----------

1.00	1.86 cm <sup>2</sup>	0.23
------	----------------------	------

0.23	<u>1.86 cm<sup>2</sup></u>	0.23
------	----------------------------	------

Entonces El área de Acero necesaria teóricamente es igual a:

$$A_s = 1.86 \text{ cm}^2$$

La altura a compresión es igual a 0.23 cm entonces prácticamente toda la sección trabajó a tensión por lo que el acero utilizado se calculó de la siguiente manera:

$$A_s = \text{Longitud a tensión} * 0.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_s = 3.84 \text{ m} * 0.5 \text{ cm}^2 / \text{m} = 1.92 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ Teórico} < A_s \text{ Experimental}$$

$$1.86 \text{ cm}^2 < 1.92 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

Entonces si cumple con la condición



## ANALISIS ESTRUCTURAL (Sección transversal)

## Coordenadas en juntas

junta	coordenada en x(m)	coordenada en y(m)	apoyo
1	0	0.5	
2	0.25	0.5	
21	0.5	0.25	
3	0.75	0	articulado
31	1	0.25	
4	1.25	0.5	
41	1.5	0.5	
5	1.75	0.5	
51	2	0.25	
6	2.25	0	articulado
61	2.5	0.25	
7	2.75	0.5	
8	3	0.5	

## ELEMENTOS

ELEMENT	J1	J2	LONG.(M)	ANGULO
1	1	2	0.25	0
2	2	2.1	0.35	-45
3	21	3	0.35	-45
4	3	31	0.35	45
5	31	4	0.35	45
6	4	41	0.25	0
7	41	5	0.25	0
8	5	51	0.35	-45
9	51	6	0.35	-45
10	6	61	0.35	45
11	61	7	0.35	45
12	7	8	0.25	0

## CARGA VIVA

ELEMENT	TIPO	MAGNITUD(KG/M)	LOC. (M)
1	UNIFORME	-29.76	0.25
21	UNIFORME	-29.76	0.35
22	UNIFORME	-29.76	0.35
31	UNIFORME	-29.76	0.35
32	UNIFORME	-29.76	0.35
41	UNIFORME	-29.76	0.25
42	UNIFORME	-29.76	0.25
51	UNIFORME	-29.76	0.35
52	UNIFORME	-29.76	0.35
61	UNIFORME	-29.76	0.35
62	UNIFORME	-29.76	0.35
7	UNIFORME	-29.76	0.25

COMBINACION DE CARGAS  
C=1,4\*CM+1.7\*CV

CARGA MUERTA

ELEMENT	TIPO	MAGNITUD (KG/M)	LOC.(M)
1	UNIFORME	-14.88	0.25
21	UNIFORME	-14.88	0.35
22	UNIFORME	-14.88	0.35
31	UNIFORME	-14.88	0.35
32	UNIFORME	-14.88	0.35
41	UNIFORME	-14.88	0.25
42	UNIFORME	-14.88	0.25
51	UNIFORME	-14.88	0.35
52	UNIFORME	-14.88	0.35
61	UNIFORME	-14.88	0.35
62	UNIFORME	-14.88	0.35
7	UNIFORME	-14.88	0.25

## REACCIONES(COMBINACION DE CARGAS)

JUNTA	GLOBAL EN X(kg)	GLOBAL EN Y(kg)	MOMENTO
3	-12.7	107.14	0
6	12.7	107.18	0

## DESPLAZAMIENTOS(COMBINACION DE CARGAS)

JUNTA	GLOBAL EN X(cm)	GLOBAL EN Y(cm)
1	-0.1745	-0.2852
2	-0.1745	-0.1745
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0.1748	-0.1748
8	0.1748	-0.2855
21	-0.0711	-0.0711
31	-0.0119	0.0119
41	0	-0.0058
51	0.0119	0.0119
61.0711	-0.0711	

## FUERZAS FINALES EN LOS ELEMENTOS

ELEMENT.	JUNTA	CARGA AXIAL(kg)	CORTE(kg)	MOMENTO(kg*m)
1	1	0	0	0
	2	0	17.87	-23.96
21	2	12.61	-12.61	23.96
	21	-12.61	37.87	-120.09
22	21	12.61	-37.87	120.09
	3	-12.61	63.14	-312.22
31	3	3.63	72.12	312.22
	31	-3.63	-46.86	-86.02
32	31	3.63	46.86	86.02
	4	-3.63	21.59	44.35
41	4	-12.7	17.83	-44.35
	41	12.7	0	68.31
42	41	-12.7	0	-68.31
	5	12.7	17.87	44.2
51	5	3.67	-21.64	-44.2
	51	-3.67	46.86	-86.16
52	51	3.67	-46.86	86.16
	6	-3.67	72.12	-312.36
61	6	12.66	63.14	312.36
	61	-12.66	-37.87	-120.24
62	61	12.66	37.87	120.24
	7	-12.66	-12.66	-24.11

MAXIMO +	12.7	72.12	312.36
ELEMENT.	41	52	61
MAXIMO -	-12.7	-46.86	-312.36
ELEMENT.	41	31	52

A partir de la ecuación que a continuación se indica, se logra obtener un valor aproximado de carga, el cual se comparó con el valor real, obtenido en el ensayo:

La expresión es la siguiente:

$$P = A_c [1 + (\pi d^2 n / 4at) (E_s / E_c - 1)] * [25(\pi d n / at) + \sigma_{um}]$$

En donde:

$P$  = valor teórico de carga última

$A_c$  = Area de concreto sobre la que se aplica la fuerza de tensión.

$d$  = diámetro del alambre de la malla.

$n$  = número de capas de malla utilizadas

$a$  = espaciamiento de alambres en la malla

$t$  = espesor del elemento

$E_c$  = módulo de elasticidad del mortero

$E_s$  = módulo de elasticidad de la malla

$\sigma_{um}$  = Esfuerzo último del ferrocemento a tensión

Dando como resultado una carga por unidad de superficie igual a 319 kg/cm<sup>2</sup>

#### **4.5 Análisis Económico**

*El Análisis Económico de las losas plegadas de ferrocemento se basó en experiencias adquiridas durante el desarrollo de este estudio y procedimiento constructivo.*

*Uno de los aspectos más atractivos del ferrocemento, y que lo hacen perfilarse como el material posiblemente más utilizado en un futuro cercano, es su costo, tanto en lo relativo a materiales como mano de obra*

*Los precios de los materiales son los que imperaron en el mercado al momento de su construcción, incluyendo únicamente los materiales y la mano de obra necesarios para su fabricación, el costo de los cimientos y muros no se incluye en este trabajo, ya que estos fueron utilizados únicamente como apoyos, los cuales variarán dependiendo de las características y necesidades que se tengan a la hora de su utilización.*

*Los materiales componentes del ferrocemento son relativamente de fácil adquisición, debido a ello la importancia de su implementación en programas de vivienda de bajo costo.*



*A continuación se hizo un análisis comparativo del costo del ferrocemento por unidad de área con respecto a otros materiales convencionales:*

*Se hará un análisis específicamente en lo que se refiere a la aplicación específica como es la de elemento para cubierta de techo. Se hará la comparación del ferrocemento con los siguientes materiales:*

*i) Concreto reforzado tradicional para losas*

*ii) Lámina de Fibrolit (instalada)*

*iii) Lámina galvanizada de Zinc (instalada)*

*iv) Ferrocemento elaborado con arena de río*

***i). Concreto reforzado tradicional***

*El problema más importante que se presenta es la necesidad de mano de obra calificada (capacitada) y con mucha experiencia para su construcción, el concreto reforzado presenta también el inconveniente de necesitar de una supervisión especializada y constante para asegurar un producto de buena calidad.*

*Se analizan los diferentes aspectos, se podrían señalar, en base a experiencias de entendidos en la materia, que los costos del concreto reforzado para losa se pueden desglosar de la siguiente forma:*

<i>mano de obra</i>	<i>40% del total</i>
<i>acero de refuerzo</i>	<i>12% del total</i>
<i>concreto</i>	<i>26% del total</i>
<i>formaleta</i>	<i>22% del total</i>

*Con los datos actualizados de costo de materiales y de mano de obra, se puede establecer que el costo actual por unidad de superficie a cubrir de losa de concreto tradicional, asciende a:*

*Q 263.71 por metro cuadrado. (losa tradicional de t= 10 cm)*

*Q458.87 por metro cuadrado. (losa tradicional de t= 12 cm)*

*Q237.38 por metro cuadrado (losa prefabricada de t= 15 cm)*

**ii) Lámina de fibrolit.**

*Este podría ser probablemente el único material que actualmente podría llegar a competir con el ferrocemento.*

*El costo unitario de techo instalado de fibrolit, en la capital, oscila actualmente entre los:*

*Q124.85 a 167.62 por metro cuadrado.*

*Este precio además incluye el costo de materiales e instalación de la estructura de apoyo como estructura metálica*

**iii) Lámina de zinc**

*Una de las desventajas que tiene este material es el de retener altas temperaturas dentro de un ambiente, o si no dejar escapar el calor interior cuando hay descensos en la temperatura exterior, y su precio va a depender del calibre o espesor de la lámina.*

*El costo unitario de la lámina de zinc instalada incluyendo estructura de apoyo o soporte asciende a:*

*Q. 380.47 por metro cuadrado*

#### 4.5.1. Costos de Manufactura

Es el costo de una losa plegada de ferrocemento con mortero de arena de rio y una capa de malla de refuerzo en toda su superficie y 2 en los pliegues.

Materiales:

\*188 Kg de cemento portland

Q.23.00/saco de 42.5 Kg.....Q. 101.76

\*0.323 m<sup>3</sup> de arena de rio

Q. 55.00/ m<sup>3</sup> .....Q.17.74

\*33yda. malla hexagonal de 1/2"

Q6.95/yda.....Q229.35

\*12 varillas Alta resistencia Ø 3.8mm grado 60

Q. 3.05/varilla.....Q36.60.

\*7 planchas de plywood o tablex

Q.74.08/plancha.....Q.518.56

*\*140 pie tabla*

*Q. 2.99/Pt.....Q.418.60*

*TOTAL MATERIAL.....Q. 1,322.61*

*Mano de Obra:*

*\*16.13 m2 paraleado y entarimado p/losa plegada con paral de madera incluyendo faldón*

*Q.10.66/m2.....Q.113.62*

*\*16.13m2 Desencofrado*

*Q. 3.52/m2.....Q.56.78*

*\*16.13m2 Colocado y tensado de malla con refuerzo adicional*

*Q. 4.55/m2.....Q.73.39*

*\*16..13 m2 Fundición losa plegada*

*Q. 7.72/m2.....Q. 124.52*

*TOTAL MANO DE OBRA.....Q. 368.31.*

*TOTAL MATERIALES + MANO DE OBRA.....Q.1,690.92*

***COSTO UNITARIO POR METRO CUADRADO .....Q. 105.55***

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- 1.- La proporción utilizada 1:2.5, con una relación agua/cemento igual a 0.45, evidenciaron una buena resistencia a la flexión a los 28 días, con mortero de arena de río, ya que resistió una carga de 192 kg/m<sup>2</sup>, cumpliendo con los requisitos mínimos de carga para techos inaccesibles, sin presentar evidencia de falla.*
  
- 2.- La losa plegada de ferrocemento a base de mortero de arena de río, presentó una impermeabilidad buena y aceptable debido a que no se apreció goteo, sino humedecimiento en zonas pequeñas de la losa.*
  
- 3.- El número de capas de malla de refuerzo no es significativa en la resistencia a la flexión, teniendo cuidado su colocación en el lugar adecuado, teniendo repercusión en lo que a costos se refiere, no siendo adecuado para cubiertas en vivienda popular.*
  
- 4.- Las losas plegadas de ferrocemento tienen la ventaja que al fallar por sobrecarga la falla no es brusca y sin previo aviso, como lo sería en otros sistemas tradicionales.*
  
- 5.- Las losas plegadas de ferrocemento pueden competir económicamente con otros sistemas constructivos tradicionales, ya que su costo es más bajo que el menor de los costos en sistemas tradicionales.*

6.- Las losas plegadas de ferrocemento tienen una apariencia muy agradable y de seguridad.

7.-Estas losas de ferrocemento prometen resistir cargas en techos accesibles o de entrepiso,por lo que sería necesario continuar con los estudios y hacer su evaluación experimental.

8.- La colocación de la malla tiene un especial cuidado, en las zonas donde se encuentran los pliegues y cercanas a los apoyos.

9.- Los costos de las losas plegadas de ferrocemento pueden ser menores si se implementa un tipo de formaleta desmontable y de utilización a gran escala, o sea que pueda ser utilizada en módulos establecidos y varias veces, con un material resistente y duradero.

10.- El beneficio que representa el empleo de losas plegadas de ferrocemento es que para su fabricación no necesitan materiales ni equipo especial y están al alcance de cualquier persona o grupo interesado en el fomento de vivienda popular.



## *Recomendaciones*

*1.- Se recomienda la utilización de la proporción 1:2.5 para mortero de arena de río, pasándose la arena por el tamiz No.8; recomendándose mantener la relación agua/cemento de 0.45 para obtener mezclas consistentes y de fácil manejo, así como una alta resistencia.*

*2.- Se recomienda el curado a vapor en las losas, ya que éste juega un papel importante en la resistencia de la losa plegada de ferrocemento, durante los primeros tres días, y luego un curado efectivo durante siete días.*

*3.- Se recomienda realizar el desencofrado después de los quince días de haberse fundido.*

*4.- Se recomienda el empleo masivo de losas plegadas de ferrocemento en viviendas populares en el área rural, aportando la comunidad la mano de obra, después de haberseles dado la instrucción adecuada, ya que de esta manera se lograrían bajar los costos grandemente.*

5.- *Se recomienda promover la experimentación de otros largos de losas así como también otros tipos de perfiles.*

6.- *Se recomienda la utilización de losas plegadas de ferrocemento para viviendas de un solo nivel y construcciones en serie, car-ports, etc.*

7.- *Se recomienda seguir estudiando e investigando sistemas de cubiertas en ferrocemento con el fin de obtener soluciones al déficit habitacional existente en nuestro país.*

## **BIBLIOGRAFIA**

*Alexander Douglas, DISEÑO A FLEXION DEL FERROCEMENTO. Revista YNCYC 18(112):39-45*

*Alfaro Perez, Mario Efraim, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE LAMINAS DE FERROCEMENTO. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Mayo de 1983.*

*American Concrete Institute (ACI), Ferrocement materials and applications. Publication sp-61. 1,979 (CICON).*

*Hernandez Hill Guillermo Iván, VARIACION DE LA RESISTENCIA EN FLEXION DE ELEMENTOS DE FERROCEMENTO, DEBIDO A TIPO Y CANTIDAD DE REFUERZO Y AGREGADOS Y SU APLICACION EN BOVEDAS PARA CUBIERTAS DE VIVIENDA ECONOMICA . Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Marzo , 1982.*

*Lorns, Martin E, FERROCEMENT AND CONCRETE VERSUS STEEL. Documento CICON.*

*Lozana Tirado Jaima, EL FERROCEMENTO EN MEXICO.*

*Marroquín Rosada, Ricardo Augusto, EL FERROCEMENTO EN LA PREFABRICACION DE VIVIENDA.. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Diciembre, 1985.*

*Meek J.L, ULTIMATE STRENGHT OF SIMPLY SUPPORTED FERROCEMENT SLABS. Documento CICON.*

*Monzón S. Manuel Francisco, FERROCEMENTO CRITERIO DE FUNCIONAMIENTO. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Abril de 1986.*

*Morales Jorge Mario, VARIACION DE LA RESISTENCIA EN FLEXION DE ELEMENTOS DE FERROCEMENTO DEBIDO A TIPO Y CANTIDAD DE REFUERZO Y AGREGADOS. Publicación Especial CICON.*

*Naraya Naswamy V.P.C.V. Surya Kamer and P.C. Sharma, PRECAST FERROCEMENT TROUGH*

*Núñez Rivas Edwin Rolando, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE PERFILES PLANOS PREFABRICADOS EN FERROCEMENTO. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Noviembre de 1988.*

*Pana R. P. and V. S. Gopalaratman, FERROCEMENTO DESARROLLO Y APLICACIONES*

*Paramasivan, P. and G.K. Nathan, FERROCEMENT SUNSHADE*

*Prawell S. P. y Reinhorn A., A COMPETITIVE MODERN BUILDING MATERIAL. Concrete international. "Design and Construction" 5(11):17-21, 1983*

*Quiñonez Javier, PREFABRICACION DE FERROCEMENTO LIVIANO PARA CUBIERTAS DE VIVIENDA. 1983*

*Quiñonez Javier, BOVEDAS DE FERROCEMENTO DE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ Y DE MORTERO DE ARENA DE RIO PARA USO EN VIVIENDA ECONOMICA. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Marzo de 1981.*

*Salas Rico- Yagué Cabrera, FERROCEMENTO EL ELEMENTO MAS VIABLE DE PAISES EN DESARROLLO. Caminos Rurales, Julio, 1980, pp 17-35.*

*Shah Surendra P., FERROCEMENTO UN NUEVO MATERIAL DE CONSTRUCCION. Documento CICON, Noviembre, 1970, pp. 37.*

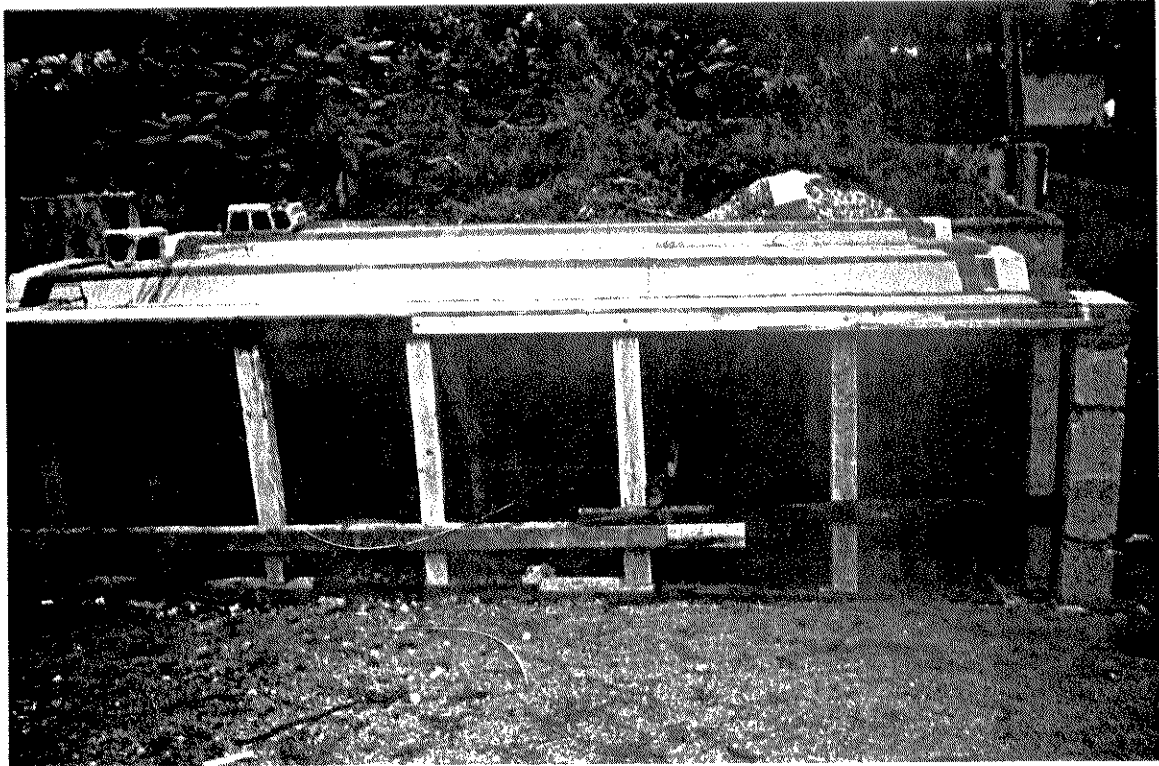
*U. S. National Academy of Science, FERROCEMENT , APPLICATIONS IN DEVELOPING COUNTRIES. Documento CICON.*

*Yon Sit, Mario Antonio, CONSIDERACIONES SOBRE EL ANALISIS Y DISEÑO DE LOSAS PLEGADAS. Tesis de Graduación de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, .*

## **ANEXOS**

### *Listado de Fotografías:*

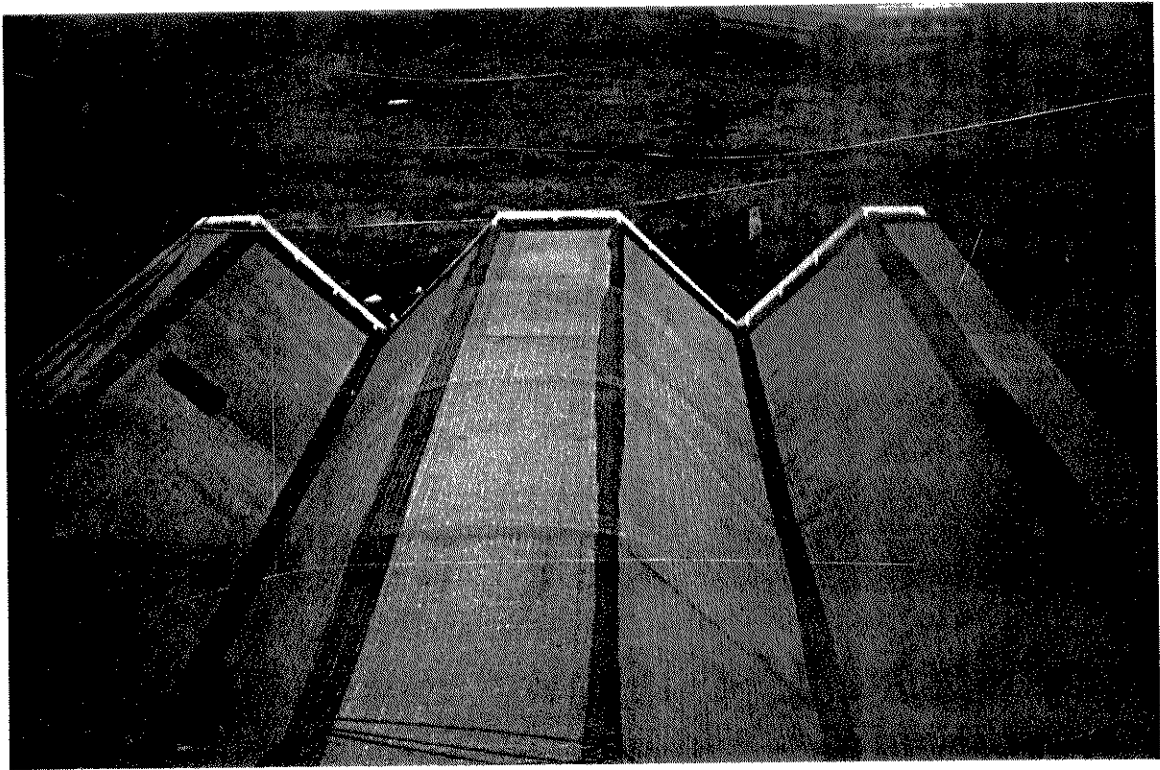
<i>Fotografía No. 1:</i>	<i>Elevación Posterior Formaleta</i>
<i>Fotografía No. 2:</i>	<i>Vista Frontal Muros de apoyo</i>
<i>Fotografía No. 3y4:</i>	<i>Vista Superior Colocación malla Hexagonal y Refuerzo por armado</i>
<i>Fotografía No. 5,6y7:</i>	<i>Tensado de Malla.</i>
<i>Fotografía No. 8,9,10,11y 12:</i>	<i>Procedimiento de Fundición.</i>
<i>Fotografía No. 13:</i> <i>nylon</i>	<i>Curado de la losa por medio de riego continuo , después de quitar el para el curado a vapor.</i>
<i>Fotografía No. 14:</i>	<i>Desencofrado y Quitado de formaleta</i>
<i>Fotografía No. 15y16:</i>	<i>Vistas lateral y frontal de la losa</i>
<i>Fotografía No. 17:</i>	<i>Vista superior de la losa plegada terminada</i>
<i>Fotografía No. 18:</i>	<i>Colocación de los Deformómetros</i>
<i>Fotografía No. 19:</i>	<i>Aplicación de primera etapa de carga</i>
<i>Fotografía No.20:</i>	<i>Aplicación segunda etapa de carga</i>
<i>Fotografía No.21:</i>	<i>Aplicación tercera etapa de carga</i>
<i>Fotografía No.22:</i>	<i>Aplicación cuarta etapa de carga</i>
<i>Fotografía No.23,24y25:</i>	<i>Aplicación de carga hasta aparecimiento de primera grieta</i>



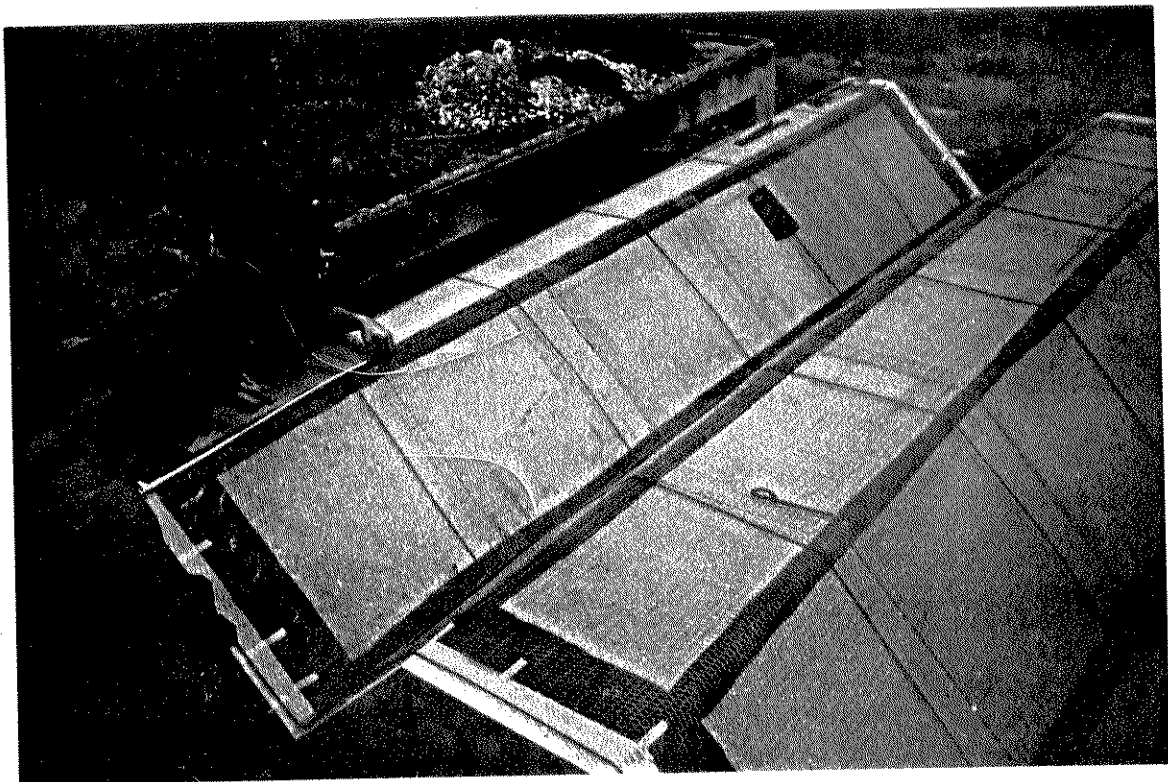
*FOTO 1*



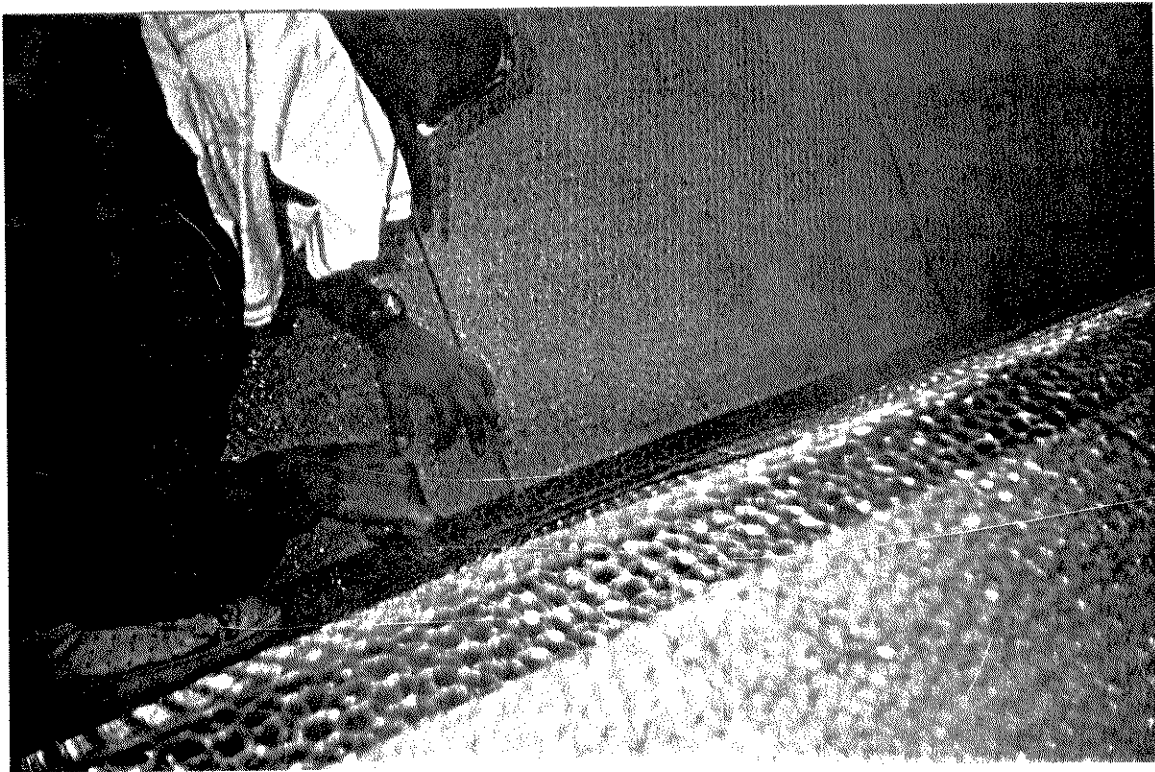
*FOTO 2*



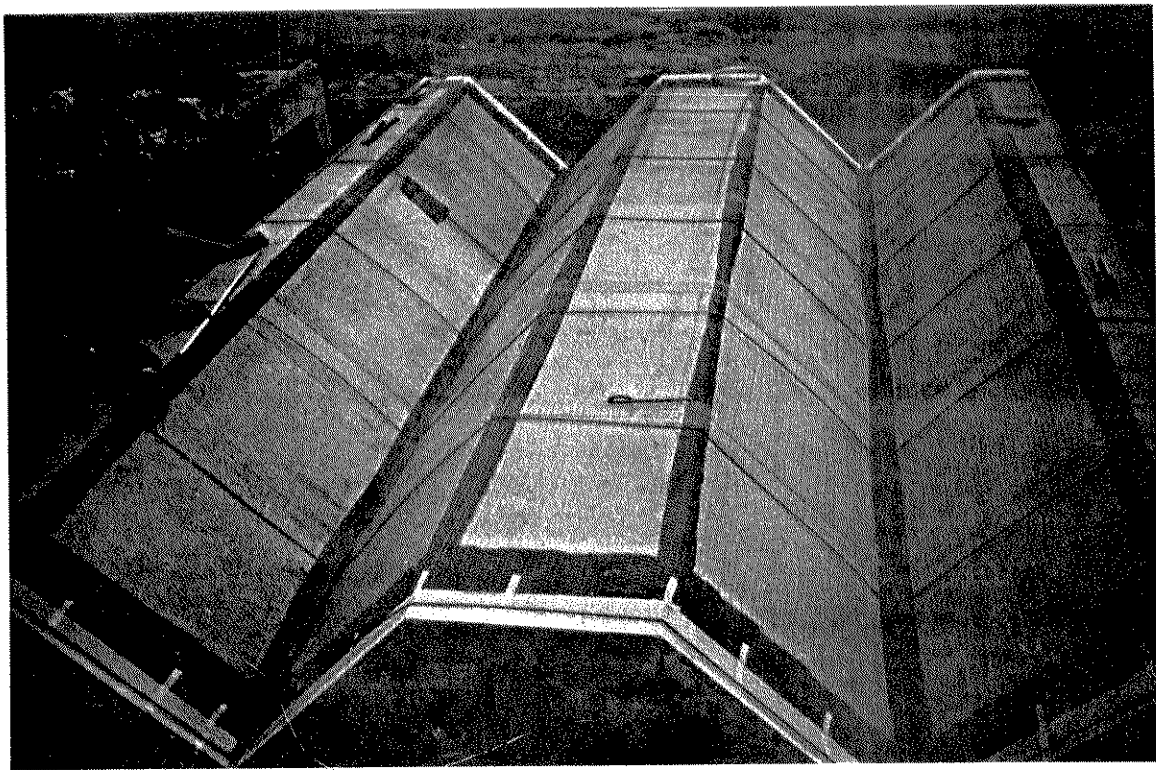
*FOTO 3*



*FOTO 4*

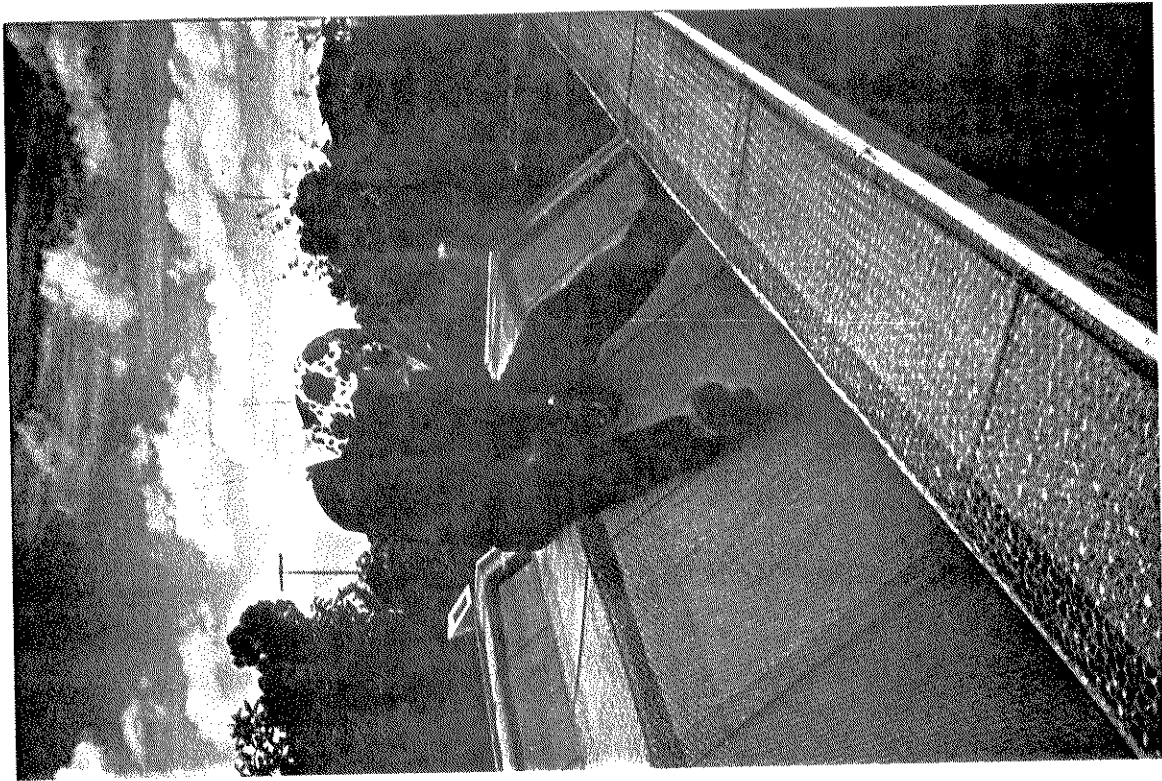


*FOTO 5*

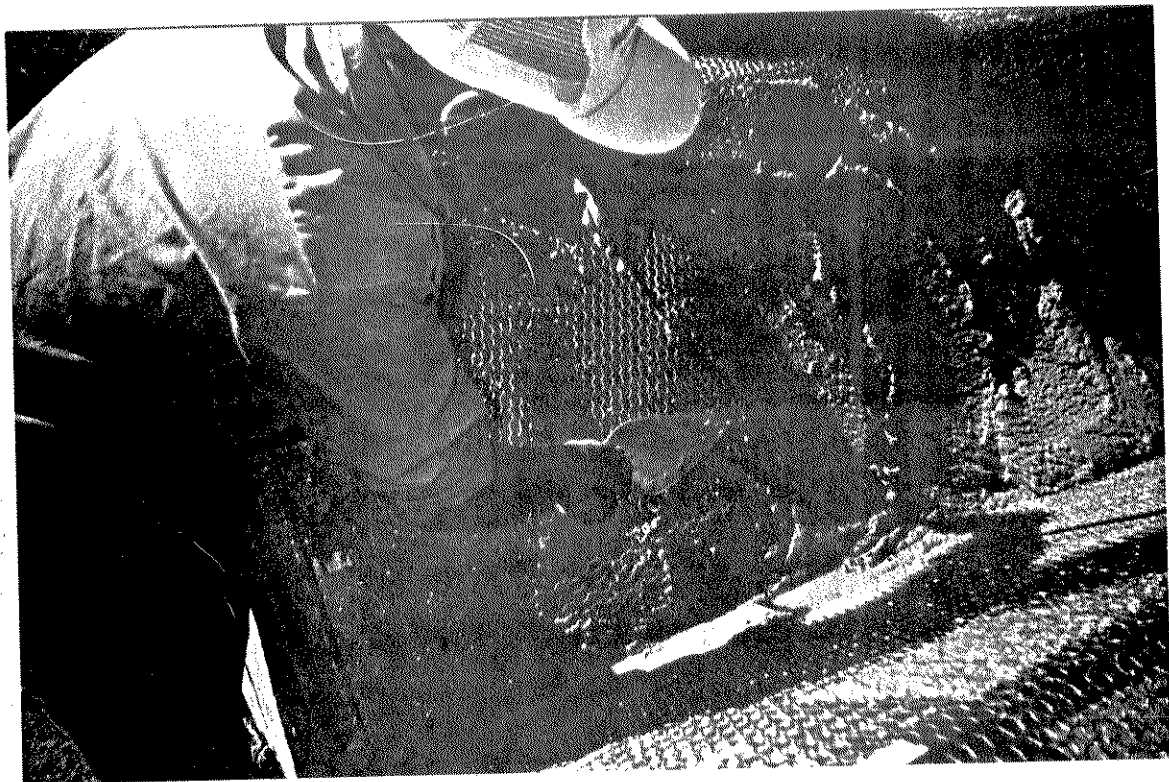


*FOTO 6*





*FOTO 7*



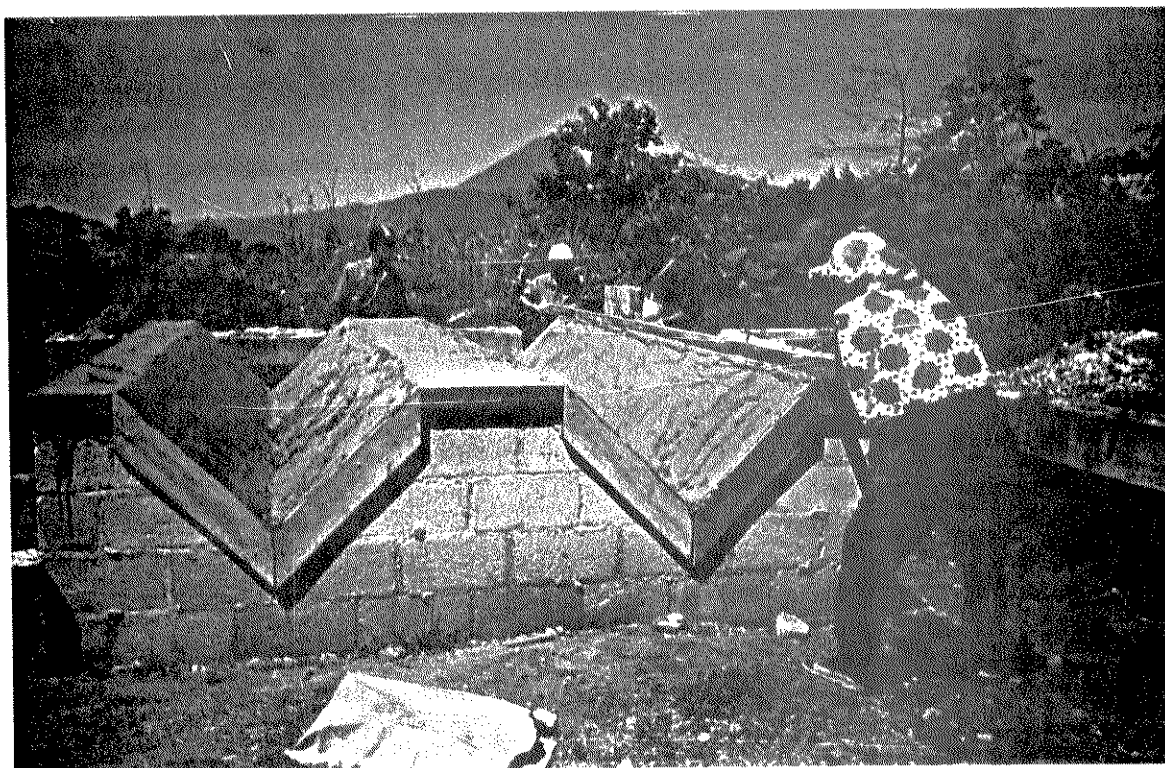
*FOTO 8*



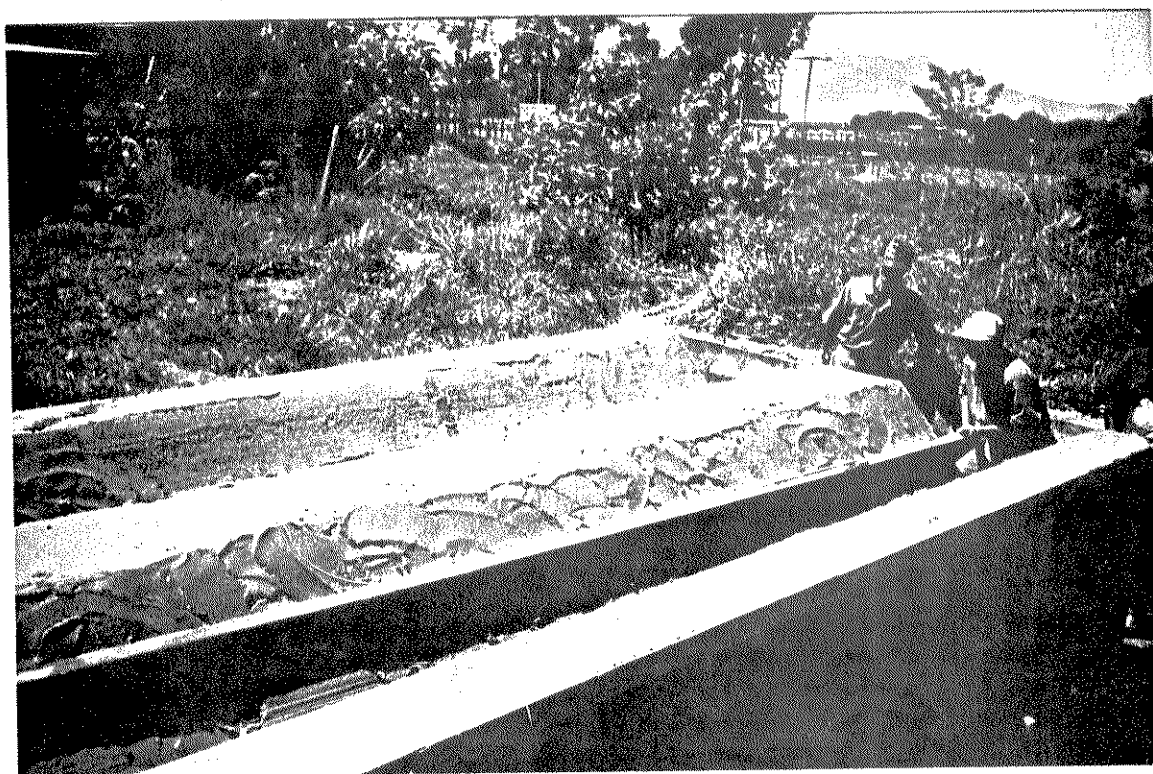
*FOTO 9*



*FOTO 10*

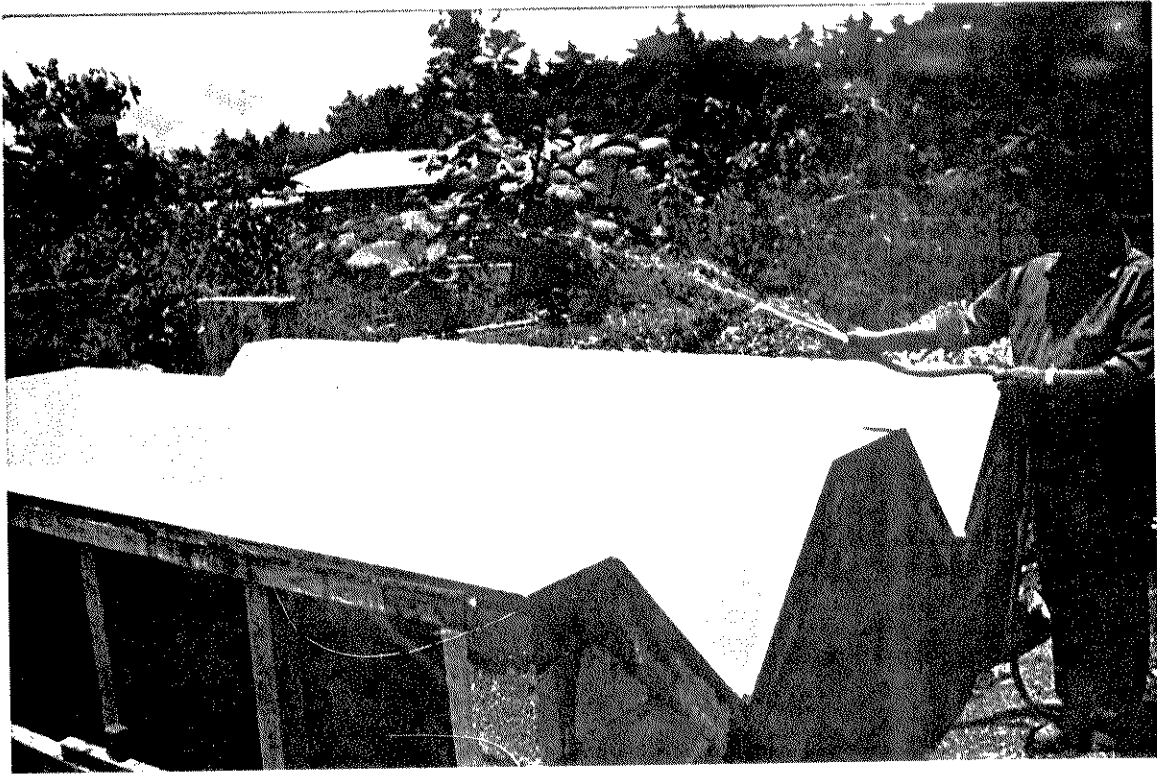


*FOTO 11*

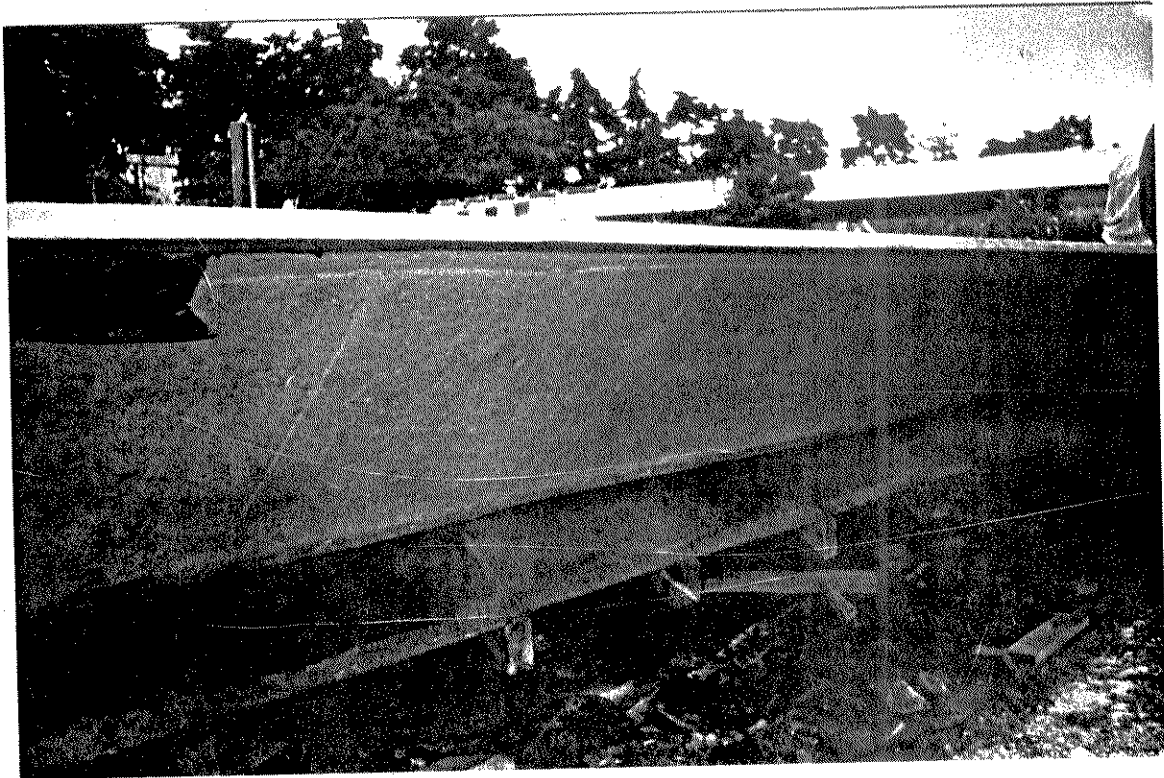


*FOTO 12*

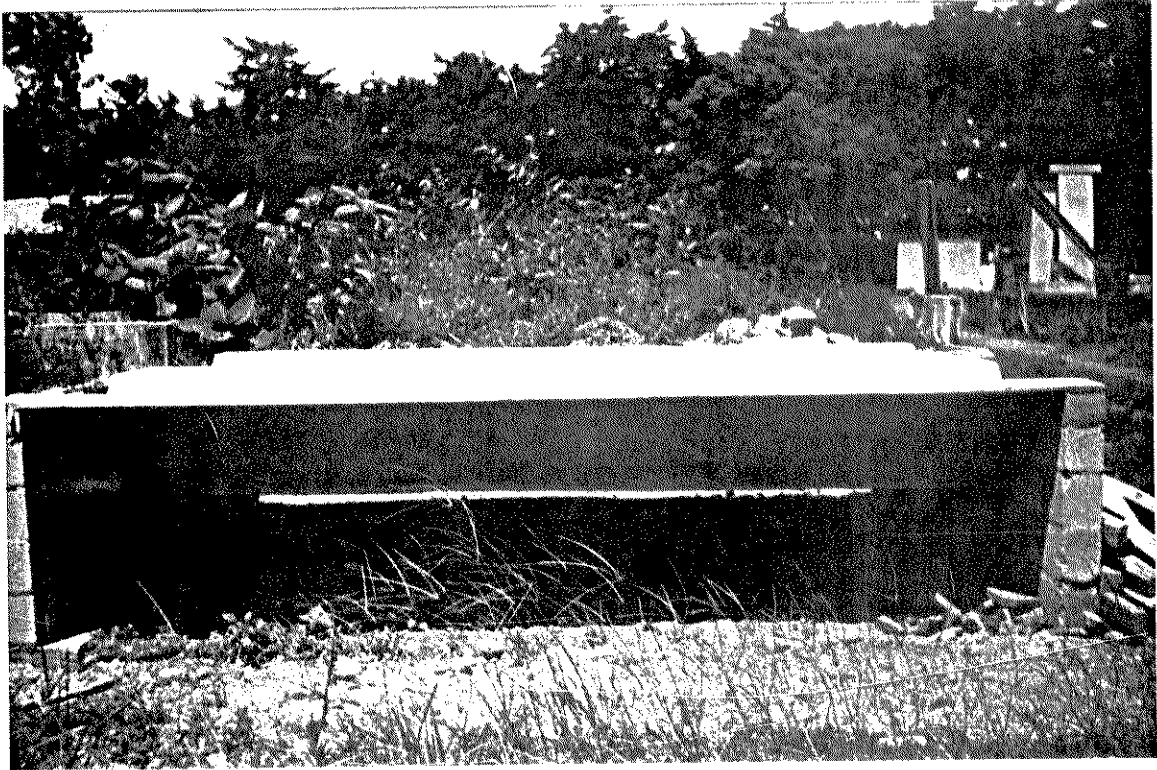




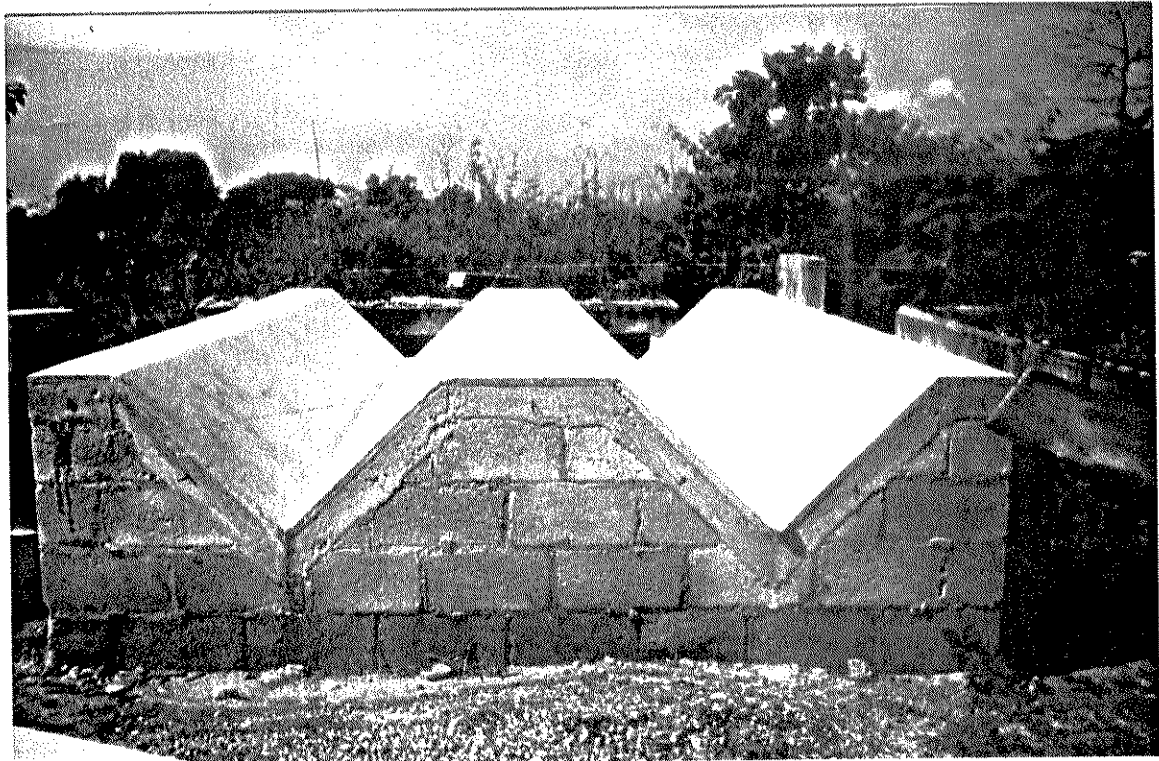
*FOTO 13*



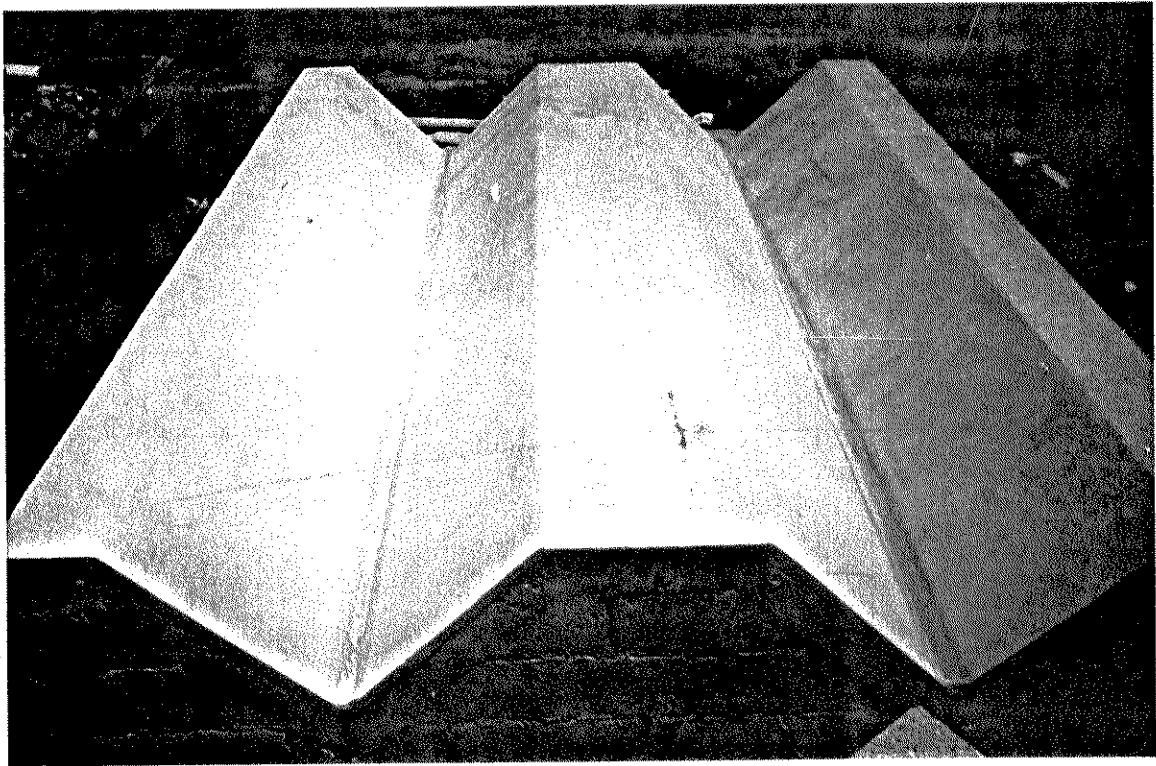
*FOTO 14*



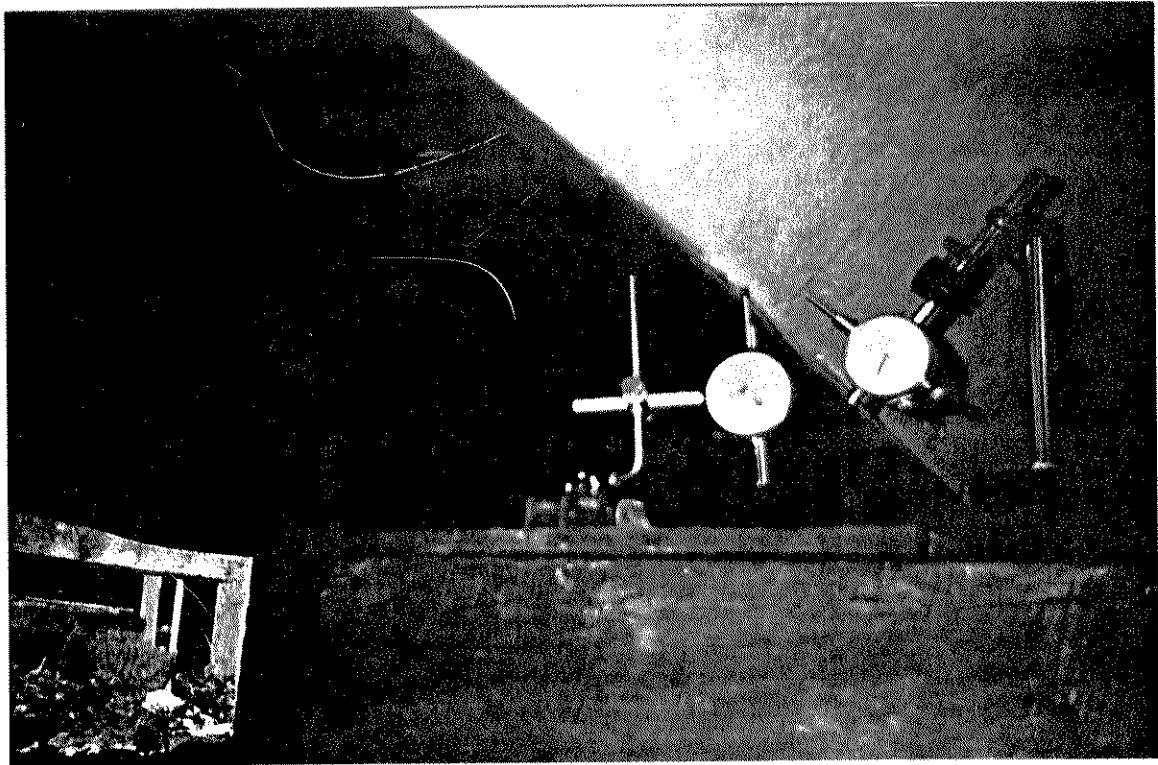
*FOTO 15*



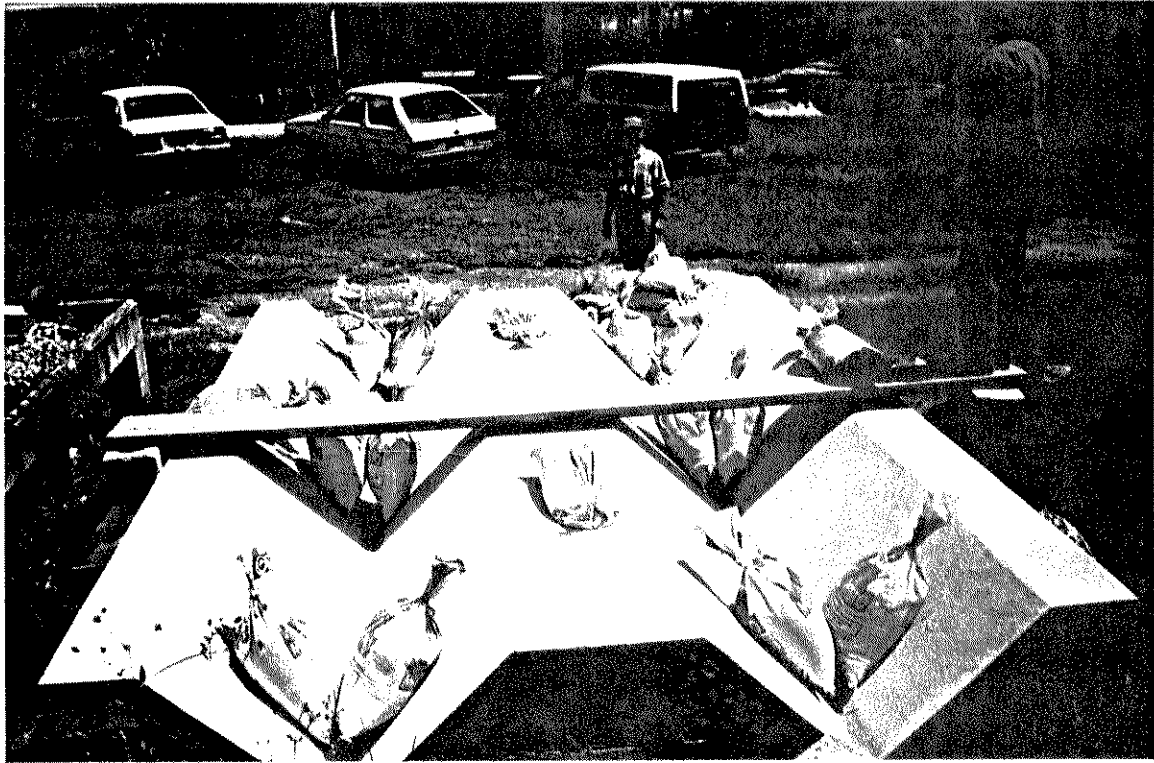
*FOTO 16*



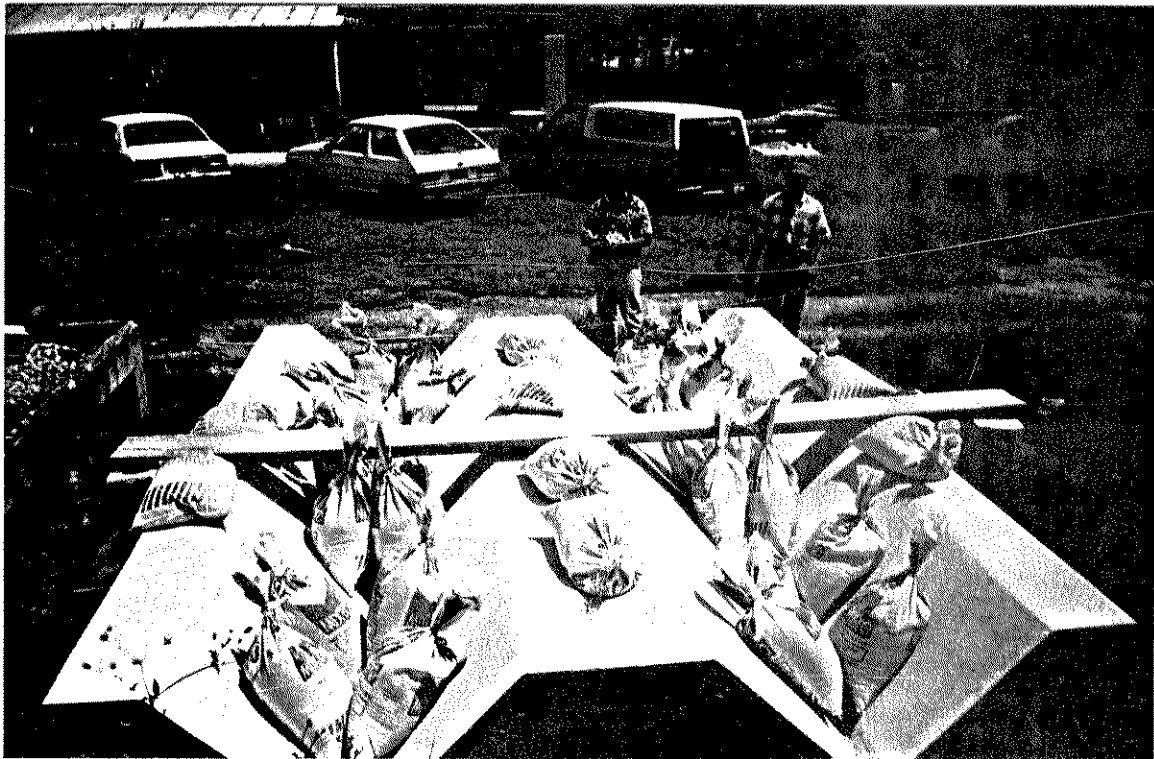
*FOTO 17*



*FOTO 18*



*FOTO 19*



*FOTO 20*



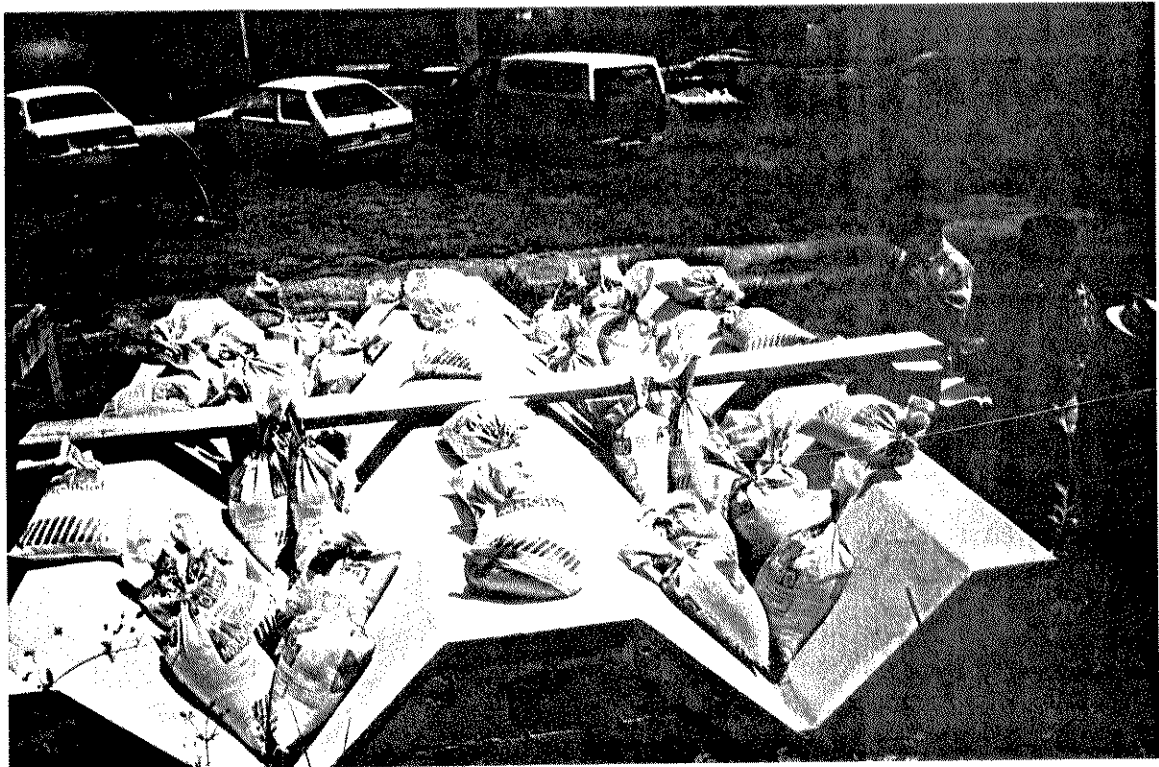


FOTO 21



FOTO 22





FOTO 23



FOTO 24



*FOTO 25*