

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN FLEXIÓN DE ELEMENTOS DE FERRO-
CEMENTO DEBIDO A TIPO Y CANTIDAD DE REFUERZO Y AGREGADOS Y SU
APLICACIÓN EN BÓVEDAS PARA CUBIERTAS DE VIVIENDA ECONÓMICA.

T E S I S

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

GUILLERMO IVAN HERNANDEZ HILL

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 1982

NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.
TESIS DE REFERENCIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN FLEXIÓN DE ELEMENTOS DE FERROCEMENTO DEBIDO A TIPO Y CANTIDAD DE REFUERZO Y AGREGADOS Y SU APLICACIÓN EN BÓVEDAS PARA CUBIERTAS DE VIVIENDA ECONÓMICA;

Tema que me fuera asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

08
T(812)C

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

DECANO	ING. CESAR AUGUSTO FERNÁNDEZ F.
VOCAL 1o.	DR. BERNARDO MORALES FIGUEROA
VOCAL 2o.	ING. HERBERT MIRANDA BARRIOS
VOCAL 3o.	ING. CESAR OSORIO IZAGUIRRE
VOCAL 4o.	BR. MARIO JACOBS LIMA
VOCAL 5o.	BR. HUGO BOSQUE MORALES
SECRETARIO	ING. MANUEL DE JESÚS CASTELLANOS DUBÓN

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. CESAR AUGUSTO FERNÁNDEZ F.
EXAMINADOR	ING. ROBERTO MAYORGA ROUGE
EXAMINADOR	ING. JUAN ALBERTO ALCAIN MONTES
EXAMINADOR	ING. CARLOS CALDERÓN CAMPOS
SECRETARIO	ING. MANUEL DE JESÚS CASTELLANOS DUBÓN

AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros: JORGE MARIO MORALES GONZALEZ Y FRANCISCO JAVIER QUI-
NONEZ DE LA CRUZ, por su valiosa colaboración en la Asesoría del presente
trabajo.

A las personas que trabajan en el Centro de Investigaciones de la Facultad
de Ingeniería por su ayuda y colaboración.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

Marco Antonio Hernández Montt
Gloria Ruth Hill de Hernández

A MIS HERMANOS

Beatriz Eugenia
Marco Vinicio
Ricardo

A MI FAMILIA EN GENERAL Y AMIGOS

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

El presente estudio forma parte del programa Tecnología de los Asentamientos Humanos, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para el cual se ha contado con la asistencia parcial del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Organización de los Estados Americanos.

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. MOTIVACION	3
3. RECOPIACION DE INFORMACION	4
3.1 Estudios Preliminares	4
4. VARIACION DE LA RESISTENCIA EN FLEXION DEBIDO A LA CANTIDAD Y TIPO DE REFUERZO DE MALLA	5
4.1 Elementos sin Refuerzo	6
4.2 Elementos con una capa de Refuerzo	6
4.3 Elementos con dos capas de Refuerzo	6
4.4 Ensayos	6
4.4.1 Flexión	10
4.4.2 Compresión	15
5. FACTIBILIDAD DEL USO DE LAS MALLAS DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS	16
6. VARIACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION Y COMPRESION DE PROBETAS CONSTRUIDAS CON DIFERENTES TAMAÑOS DE ARENA POMEZ	17
6.1 Preparacion de Probetas con Diferentes Tamaños de Agregados	18
7. APLICACION A BOVEDAS DE FERROCEMENTO DE MORTERO LIVIANO DE POMEZ Y DE ARENA DE RIO	20
7.1 Selección de la Malla de Refuerzo y Tamaño del Agregado del Mortero de acuerdo a los Resultados Obtenidos	20
7.2 Selección del Sistema a utilizar	21
8. PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION	22
8.1 Area de Trabajo	23
8.2 Construcción de Muros u otro tipo de Apoyos	23
8.3 Preparación de Formaleta	23
8.4 Protector de la Formaleta	23
8.5 Colocado de la Malla Hexagonal	26
8.6 Colocado de Varillas de Refuerzo	26
8.7 Tensado de la Malla	28
8.8 Preparación del Mortero a utilizar	28
8.9 Fundición de la Bóveda	29
8.10 Curado	31
8.11 Desencofrado	31
9. ENSAYOS SOBRE TECHOS	31
9.1 Pruebas de Carga Vertical	31
9.2 Pruebas de Permeabilidad	32
9.3 Resultados de la Pruebas de Cargas	32

	Página
9.4 EVALUACION FINAL DE RESULTADOS	36
10. ANALISIS DEL COSTO	39
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
12. BIBLIOGRAFIA	46
APENDICE "A"	47
APENDICE "B"	50
APENDICE "C"	55

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación que forma parte de uno de los estudios que se realizan en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, trata de contribuir a buscar soluciones al problema existente de vivienda en nuestro país. Recientemente, se han hecho una serie de trabajos experimentales que ponen en evidencia la economía y funcionalidad de sistemas no convencionales, tales como los realizados en bóvedas de Ferrocemento de mortero de arena de río y concreto liviano de techos de tres por tres metros.

Este trabajo es una continuación del anterior que viene a comprobar resultados, aquí se varían las dimensiones de las bóvedas a tres metros de luz por cinco metro de largo, así como el refuerzo utilizado con el objeto de optimizar su uso y hacer más económico el sistema.

En un estudio preliminar, se determinó el comportamiento a flexión de probetas de mortero de arena de río y de concreto liviano de arena pómez, reforzadas con las mallas más comunes en nuestro medio, con el objeto de establecer cuál es el refuerzo más eficiente y de menor costo para la construcción de elementos con Ferrocemento; aprovechando esta etapa se consideró importante establecer cuál es el resultado de la interacción de los diferentes tipos y cantidades de malla de refuerzo con los tipos y tamaños de los agregados. Además para malla hexagonal, se determinó el sentido correcto para su utilización.

El Ferrocemento, material empleado en la construcción de las bóvedas, se ha venido utilizando desde muchos años atrás en la autoconstruc-

ción de botes, tanques de agua, etc.; sin embargo, por su uso práctico y sobre todo su bajo costo lo hace ser una buena alternativa para la industria de la construcción. En países sumamente avanzados tecnológicamente, ya ha sido puesto en práctica, lográndose magníficos resultados. Aquí se presenta una innovación en cuanto a su técnica, ya que ofrece la utilización de arena pómez en vez de arena de río y se logran resultados altamente satisfactorios.

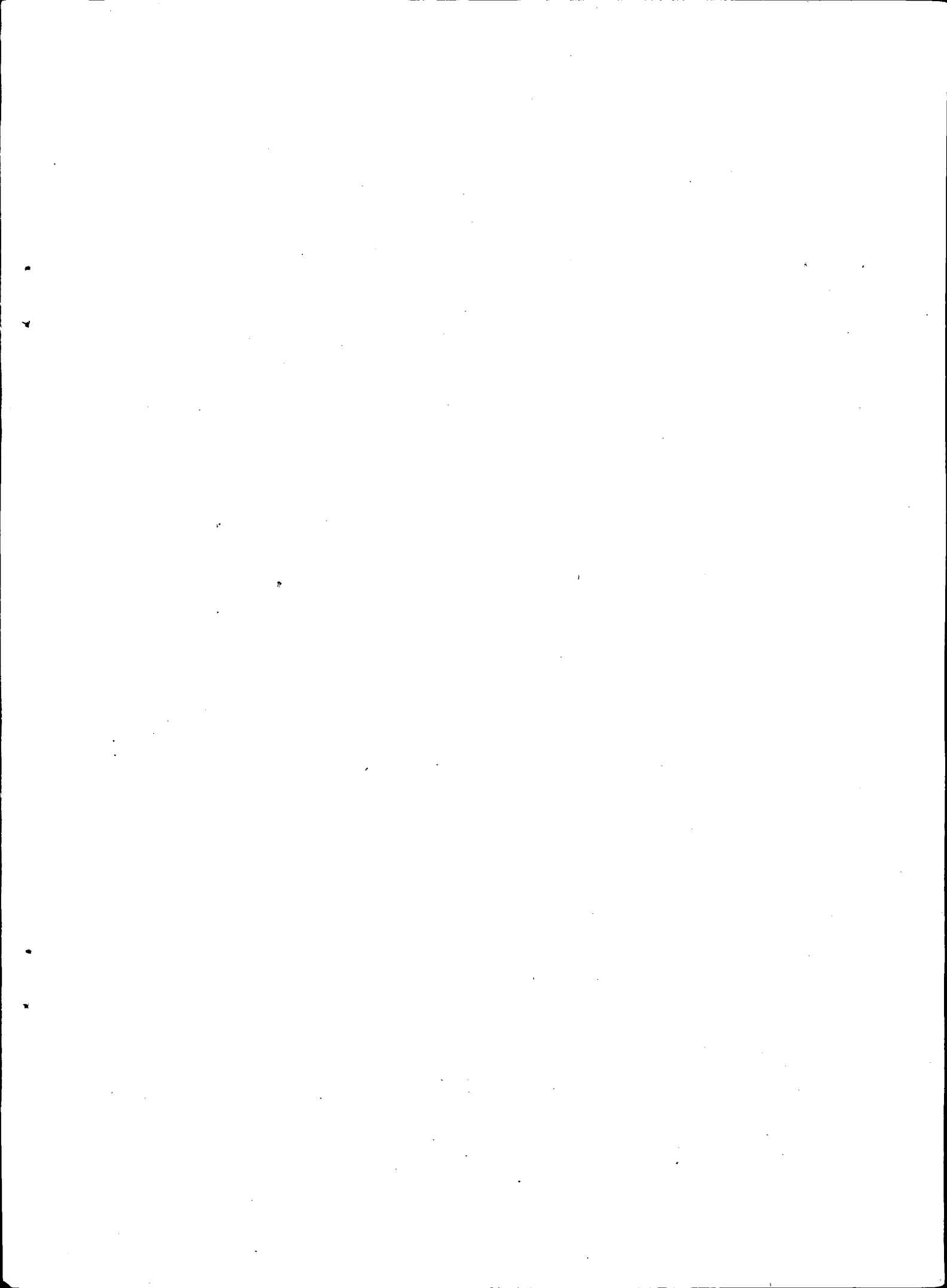
El estudio presenta la técnica empleada en la construcción de bóvedas de Ferrocemento, así como el comportamiento de los techos, sometidos a carga, tipos de falla, funcionalidad y bajos costos.

Por otra parte, se detallan los resultados obtenidos del estudio preliminar y se hace una discusión sobre los mismos. Lo anterior, son las características más importantes dentro de la investigación realizada.

II. MOTIVACIÓN

Contar con una vivienda constituye para el ser humano una necesidad primordial y en toda vivienda la cubierta constituye el elemento básico. El alto costo de los materiales de construcción y mano de obra hacen actualmente prohibitivo el adquirir esta necesidad, de esta cuenta, se debe ingeniar la forma de suplir dicha necesidad, y es así como la tecnología avanza y propone nuevas soluciones. Entre las soluciones al problema de vivienda se encuentra el FERROCEMENTO, cuyas características principales son: utiliza materiales de fácil adquisición y de bajo costo, espesores bajos con resultados satisfactorios de las pruebas de flexión y compresión a que ha sido sometido; no necesita obreros especializados, ya que es de fácil maniobra, su bajo costo relativo lo hace una solución potencial al problema de cubiertas; es durable, en particular, posee una gran versatilidad; proporciona un acabado agradable y sobre todo, la dispersión de la malla de refuerzo, ayuda a controlar el agrietamiento.

Ha sido en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería en donde se originó el interés al estudio y técnicas del FERROCEMENTO como material utilizable en la construcción, con la finalidad de aportar a nuestro país una solución que sin duda alguna, vendrá a aliviar en alguna medida el problema de vivienda existente. Debido a que los trabajos anteriores recomiendan un estudio más profundo del comportamiento de este material, en el caso particular de bóvedas, surgió el interés por ampliar el estudio de techos de FERROCEMENTO, ya que de esta manera, se podrá colaborar realmente en beneficio de la sociedad guatemalteca, y de la Ingeniería Nacional.

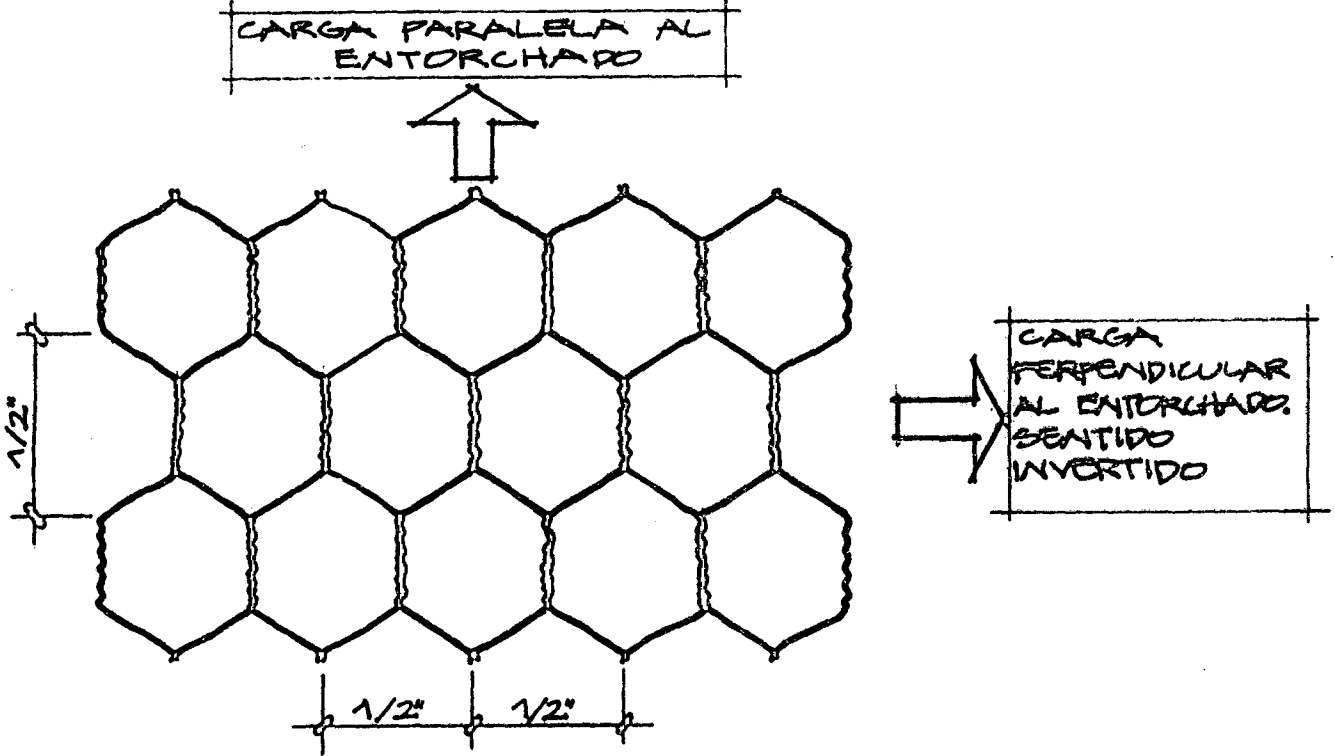


de mallas y clases de arenas, así como utilización de fibras cortas de acero o fibras vegetales, combinadas con Ferrocemento. Se hace un análisis del costo y resulta favorable. (Ref. 2)

Para el estudio de cubiertas realizado posteriormente, se adoptó la forma de una parábola, cuya geometría favorece a explotar los valores de resistencia del mortero a la compresión. Por la apariencia y comportamiento que presentan estos techos, se evaluaron diferentes tipos de morteros; se realizaron intentos de utilización de Ferrocemento reforzado con fibras vegetales. Se realizó un análisis del costo, comparativamente con las cubiertas tradicionales, resultando muy económico; sin embargo, la malla hexagonal de refuerzo representa el 40% del costo total del elemento y es de difícil adquisición, por lo que se recomienda estudiar otros tipos mallas. 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 asociada con un desentorche del refuerzo, por lo que es deseable investigar no sólo la contribución de aumento de resistencia provocado por el incremento de refuerzo sino que también la dirección del refuerzo según el entorchado de la malla. Debido a este mismo fenómeno, hay discrepancia entre los momentos últimos calculados y los reales, por lo que se recomienda una investigación más profunda, así como evaluar mallas soldadas que evitarían el tipo de falla antes mencionada.

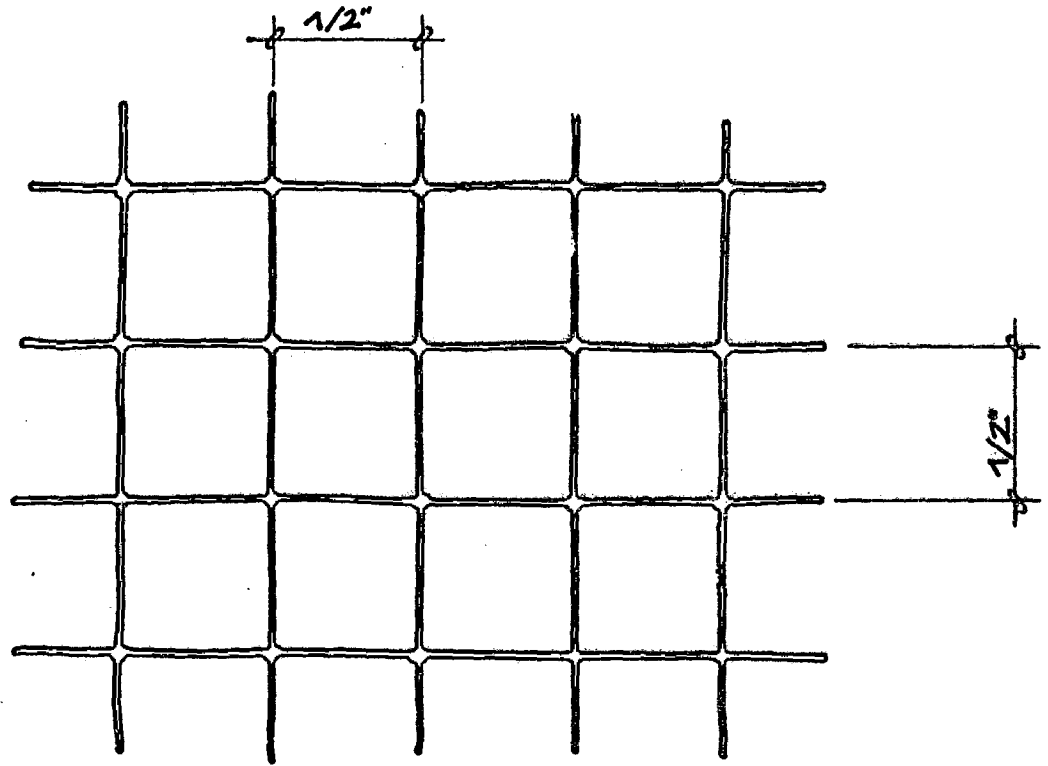
IV. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN FLEXIÓN, DEBIDO A LA CANTIDAD Y TIPO DE REFUERZO DE MALLA

Para establecer el incremento de resistencia con el aumento de



MALLA HEXAGONAL DE $1/2''$

FIG. 1A.



MALLA CUADRADA DE $1/2''$. SOLDADA

FIG. 1B.

refuerzo de malla que surgió como una duda en el estudio anterior, se decidió elaborar probetas pequeñas con diferentes tipos de malla y con diferentes porcentajes de refuerzo para ensayarse en flexión.

4.1 ELEMENTO SIN REFUERZO:

Se estableció un mínimo de tres probetas para cada prueba. Para poder tener una comparación se elaboraron probetas sin refuerzo, tanto de mortero de arena de río como de concreto liviano de pómez.

4.2 ELEMENTOS CON UNA CAPA DE REFUERZO:

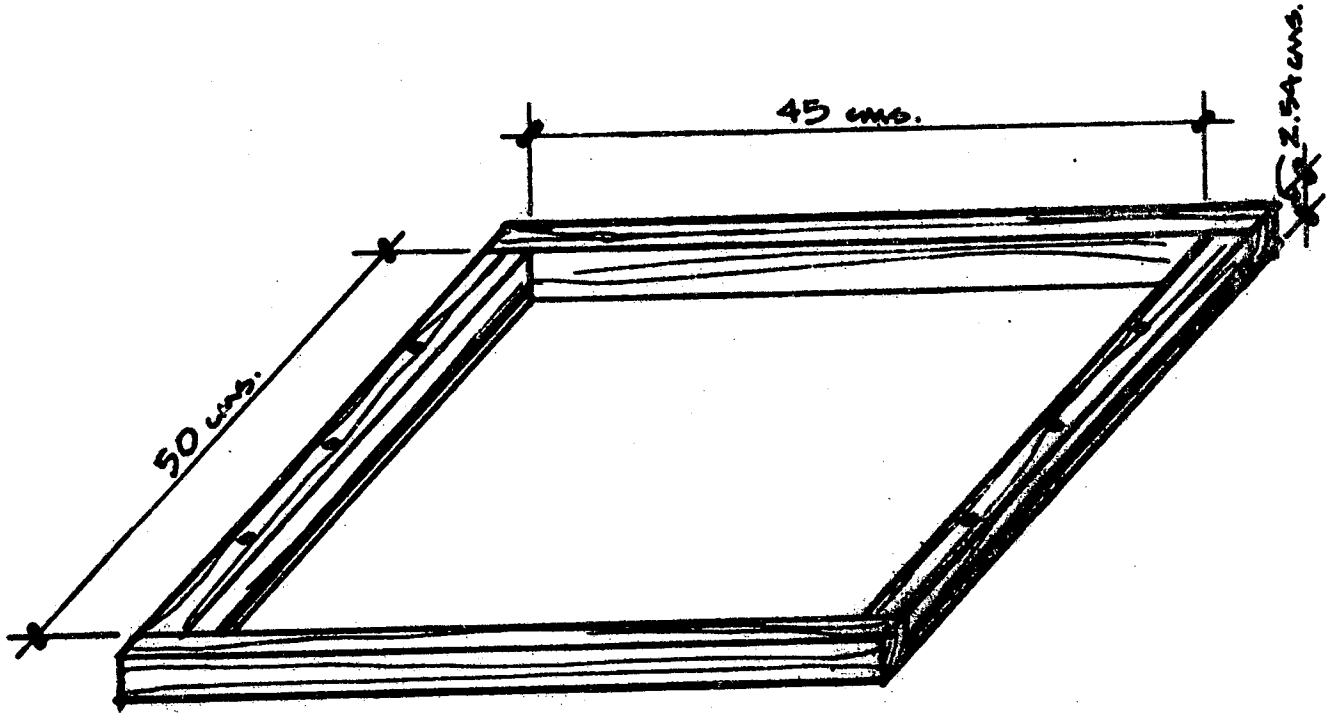
Dos tipos de refuerzo se estudiaron en general, por ser los que más abundan en nuestro mercado y que mejor distribución de refuerzo presentan. El primer tipo de refuerzo fue la malla hexagonal de media pulgada (de gallinero), el otro tipo fue la malla cuadrada soldada de 1/2". Para que las muestras tuvieran una uniformidad aceptable, se eligió un sólo nivel de refuerzo, dejando un recubrimiento por debajo de la malla de 0.25 centímetros, para lograrlo, se elaboraron moldes especiales. (Fig. 2.a)

4.3 ELEMENTOS CON DOS CAPAS DE REFUERZO:

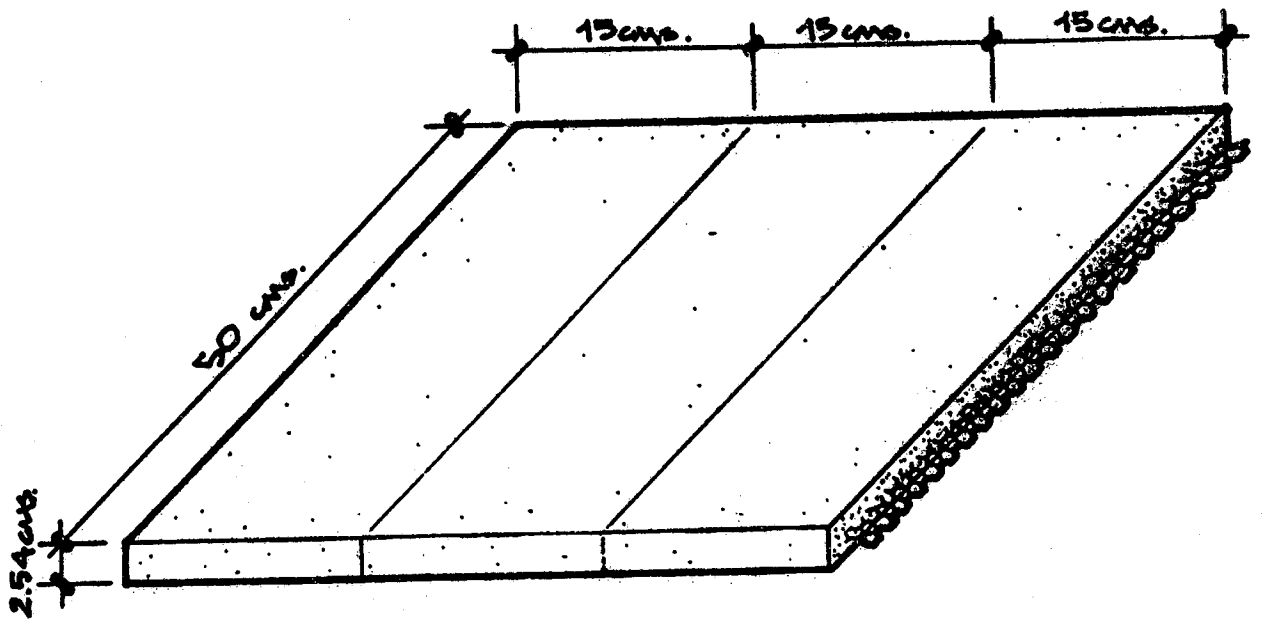
Con dos capas de malla se elaboraron probetas similares a las anteriores, las dimensiones de éstas y de los elementos descritos antes fueron: 15 cm. x 2.50 cm. x 50 cm. (Fig. 2.b)

4.4 ENSAYOS:

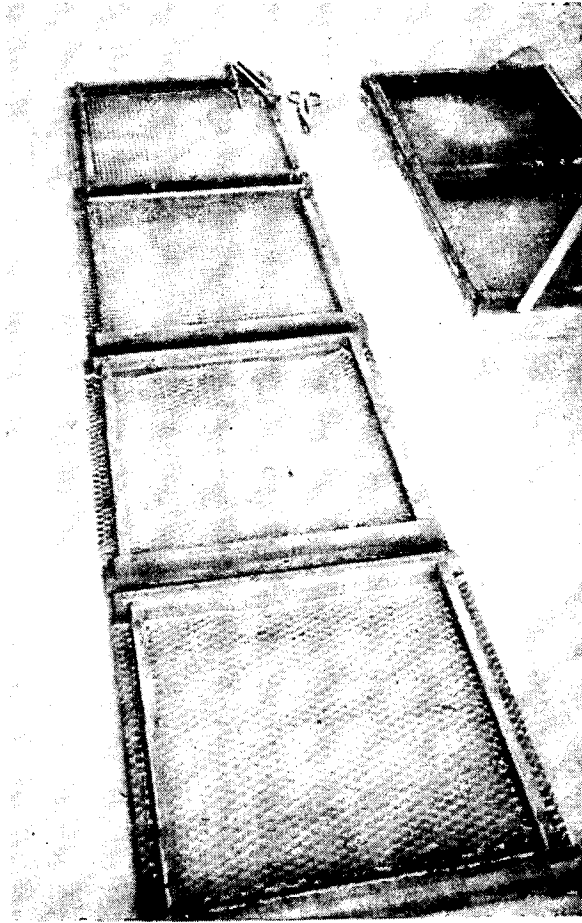
Los ensayos que se realizaron con elementos sin refuerzo, con



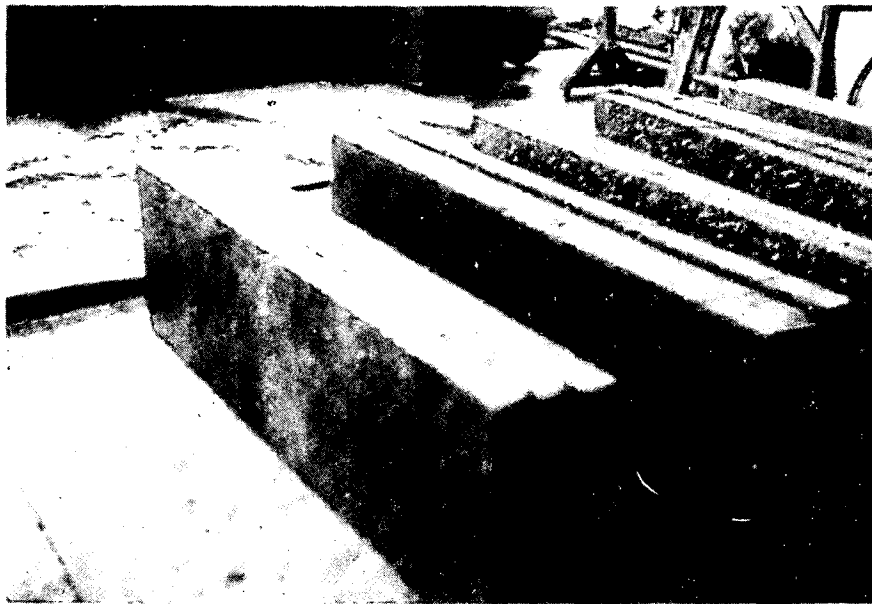
A. FORMALETA PARA PROBETAS



B. PROBETA DE FERROCIMENTO



COLOCACION DE LA MALLA EN MOLDES
PARA LA FABRICACION DE PROBETAS
DE FLEXION DE FERROCEMENTO UTI-
LIZANDO UN RECUBRIMIENTO UNIFOR-
ME.



PROBETAS DE FERROCEMENTO PARA ENSAYOS DE FLEXION

una capa de refuerzo y elementos con dos capas de refuerzo, fueron de flexión. Las características de resistencia a compresión de las mezclas fueron calculadas mediante el ensayo de probetas cúbicas de 5 cm. de arista, los cuales se describen más adelante. Dichos ensayos fueron realizados en el C.I.I. en la máquina tipo universal de la Balwin Lima Hamilton. Esta etapa de pruebas es preliminar a una más completa desarrollada en el Capítulo V.

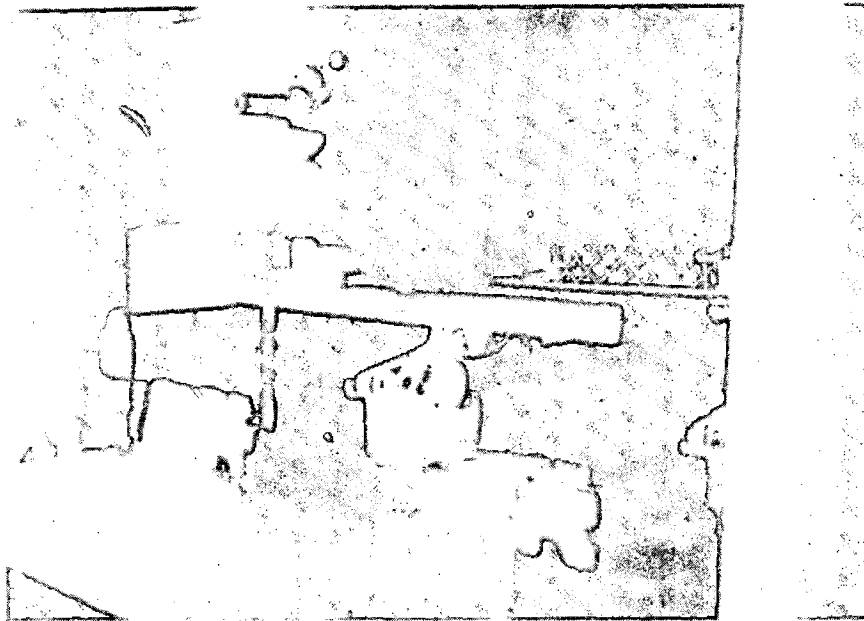
4.4.1 FLEXION:

Para realizar los ensayos de flexión a elementos de Ferrocemento, se fabricaron probetas, indicando en ellas el tipo de malla empleada. De esta cuenta, las probetas quedaron identificadas de la siguiente forma:

M1 - 1H

- M1 = No. de la mezcla
- 1 = No. de capas de refuerzo
- H = Identificación de la malla, puede ser: H=Hexagonal
- C = Cuadrada
- SM = Sin malla
- SI = Sentido invertido de la malla hexagonal, entorchado perpendicular a la aplicación de la carga. (Fig. 1.a).

Las probetas utilizadas de 50 cm. x 15 cm. x 2.54 cm. (Ver figura No. 2), se colocaron sobre apoyos de acero que dejan una luz de 40 cm. aplicando la carga con la máquina universal en forma concentrada justo a la mitad de la luz.



ENSAYO DE FLEXION

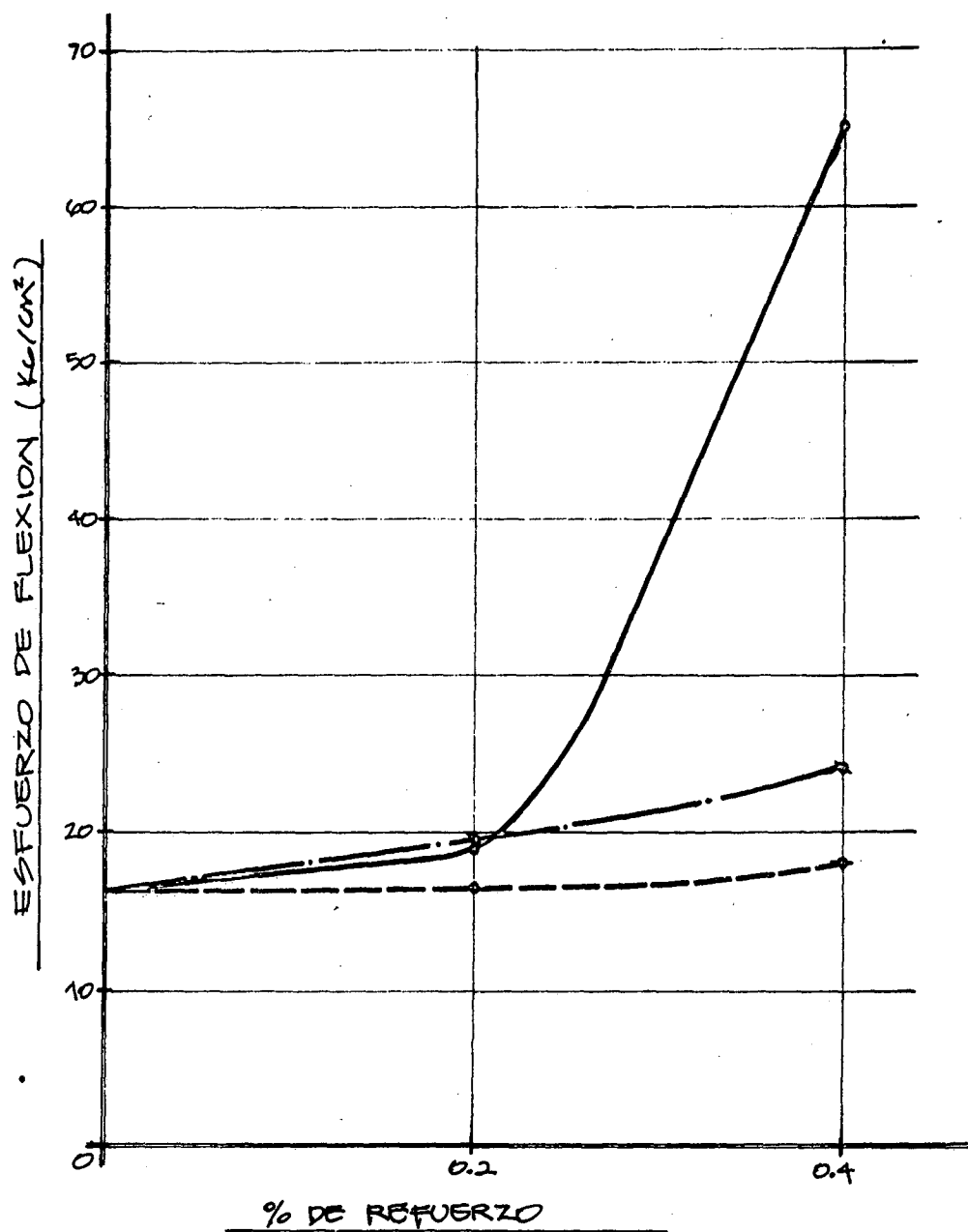
CUADRO No. " 1 "

ESFUERZOS PROMEDIOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE FLEXION

MORTERO DE ARENA POMEZ M1				
MUESTRAS	$M = PL/4$ Kg . cm	$c = h/2$ cm .	$*I$ cm^4	$\sigma = PL/4.h/2/I$ Kg/cm ²
M1 - SM	260	1.27	20.48	16.12
M1 - 1H	280	1.27	21.38	16.63
M1 - 1HSI	323	1.27	21.38	19.19
M1 - 2H	320	1.27	22.28	18.24
M1 - 2HSI	427	1.27	22.28	24.34
M1 - 1C	620	1.27	21.40	18.99
M1 - 2C	1150	1.27	22.32	65.43
MORTERO DE ARENA DE RIO M2				
M2 - SM	520	1.27	20.48	32.25
M2 - 1H	733.4	1.27	21.32	43.69
M2 - 1HSI	675	1.27	21.32	40.21
M2 - 2H	900	1.27	22.17	51.56
M2 - 2HSI	708.4	1.27	22.17	40.58
M2 - 1C	750	1.27	21.35	44.61
M2 - 2C	1290	1.27	22.22	73.73

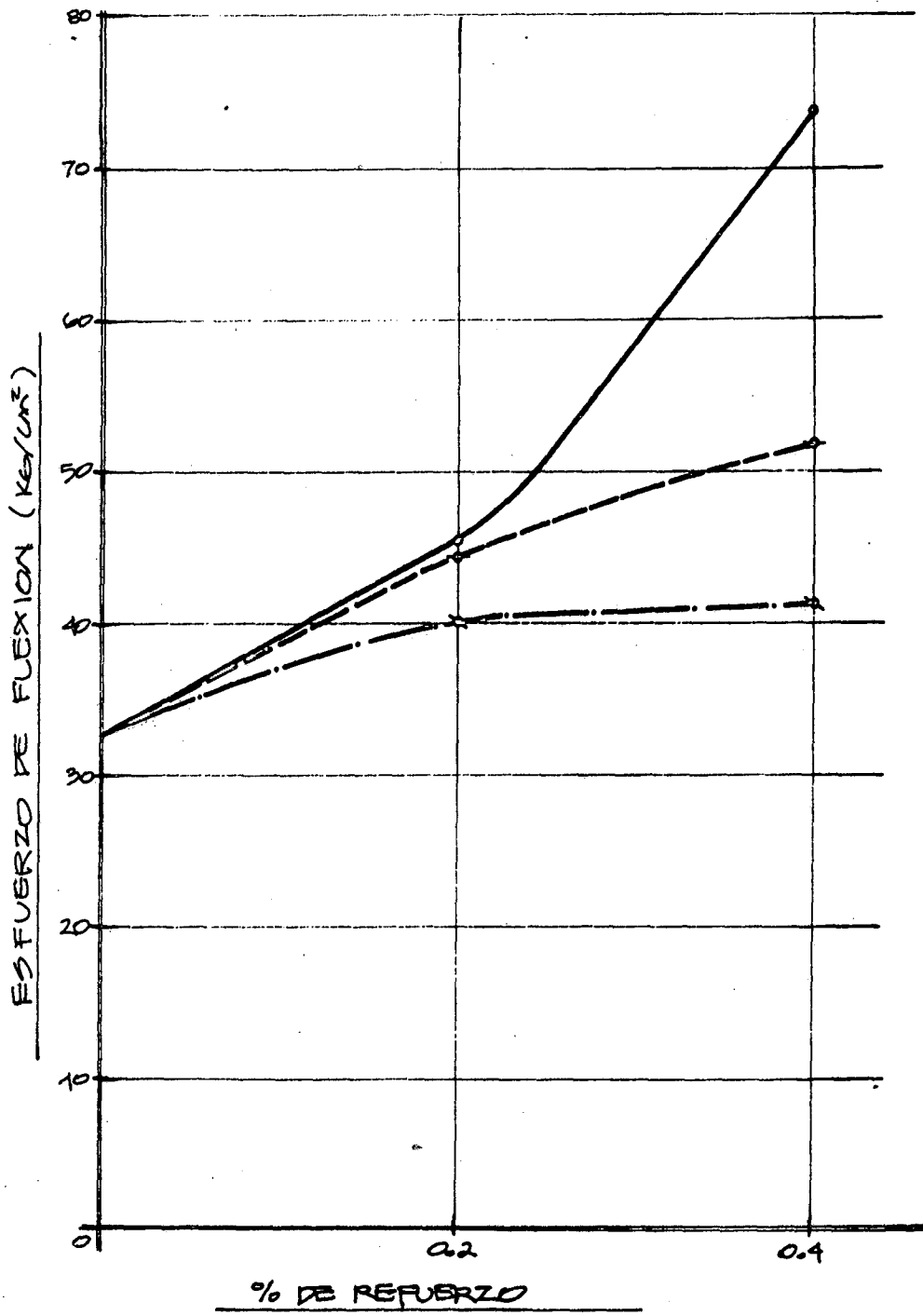
* Momento de Inercia de la Sección Compuesta (Ref. 1)

Los datos y resultados en detalle pueden consultarse en la tablas 1 y 2 del apéndice "A".



TIPO DE REFUERZO	
—————	MALLA SOLDADA CUADRADA.
-----	MALLA HEXAGONAL.
- · - · - ·	MALLA HEXAGONAL SENTIDO INVERTIDO.

GRAFICA ESFUERZO DE FLEXION - % DE REFUERZO PARA PROBETAS CON CONCRETO LIVIANO DE POMEZ.



<u>TIPO DE REFUERZO</u>	
—————	<u>MALLA SOLDADA CUADRADA.</u>
-----	<u>MALLA HEXAGONAL.</u>
- . - . - .	<u>MALLA HEXAGONAL SENTIDO INVERTIDO.</u>

GRAFICA ESFUERZO DE FLEXION - % DE REFUERZO PARA PROBETAS CON MORTERO DE ARENA DE RIO.

4.4.2 COMPRESION:

De cada una de las mezclas que se hicieron, se tomaron seis muestras para ensayo a compresión. Los resultados obtenidos se indican a continuación:

PARA MORTERO DE ARENA POMEZ

CUBO	P (kg)	AREA CUBO (cm ²)	$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)
M1 - 1	1975	25	79
M1 - 2	1880	25	75.2
M1 - 3	1700	25	68
M1 - 4	1940	25	77.6
M1 - 5	2100	25	84
M1 - 6	2240	25	89.6

Esfuerzo promedio = 78.9 kg/cm²

PARA MORTERO DE ARENA DE RIO

CUBO	P (kg)	AREA CUBO (cm ²)	$\sigma = P/A$ (kg/cm ²)
M2 - 1	6710	25	268.4
M2 - 2	7720	25	308.8
M2 - 3	8240	25	329.6
M2 - 4	7300	25	292.0
M2 - 5	8240	25	329.6
M2 - 6	8660	25	346.4

Esfuerzo promedio = 312.5 kg/cm²

V. FACTIBILIDAD DEL USO DE LAS MALLAS DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En las probetas elaboradas con concreto liviano de pómez, puede comprobarse a través de las gráficas que la resistencia en flexión no se incrementa con el uso de malla cuadrada soldada o malla hexagonal en ambos sentidos, cuando el refuerzo consiste de una sola capa (0.2%). Sin embargo, para contenidos de refuerzo más elevados si hay un incremento; el sentido invertido de la malla hexagonal contribuye a obtener mejores resultados, y la malla cuadrada soldada es indiscutiblemente la que presenta mayores esfuerzos.

En probetas construídas con mortero de arena de río los resultados son similares, aunque en general, los esfuerzos obtenidos son mayores que el concreto liviano, este aumento se debe al incremento de resistencia del mortero.

Ya que la malla cuadrada soldada ayudó notablemente en la obtención de esfuerzos altos, podría pensarse que es la más indicada para la aplicación a elementos de Ferrocemento; sin embargo, pudo observarse que debido a la rigidez del refuerzo, producido por las soldaduras de las uniones, los esfuerzos máximos están asociados con fallas bruscas, lo cual no sucede con mallas hexagonales. El efecto de estas fallas es de sumo interés, ya que indica entonces que los esfuerzos máximos tendrán que ser reducidos para contar con esfuerzos de trabajo que garanticen un amplio margen de seguridad. Si los esfuerzos máximos se reducen, la diferencia entre los esfuerzos obtenidos con diferentes mallas se reduce también.

Por otra parte, debe mencionarse con especial atención que el costo de la malla cuadrada soldada es de 2.2 veces el costo de la malla hexagonal. Si se analizan juntamente los dos parámetros, (costo y resistencia), se estima que no hay una notable diferencia entre el uso de los dos tipos de mallas.

Puede establecerse en resumen:

- El incremento de resistencia en flexión entre probetas con una y dos capas de malla hexagonal no es razonable si se considera el aumento en el costo.
- El incremento de resistencia en flexión entre probetas con una y dos capas de malla cuadrada es altamente considerable.
- Con el uso de mortero de arena de río se obtienen valores mucho más altos de esfuerzo en flexión, como se esperaba, que con concreto liviano.
- Si se usan dos capas de malla, lo cual no es económico, lo más razonable es utilizar malla hexagonal en el sentido invertido.
- Puede decirse que en mallas hexagonales el sentido no reviste mucha importancia, aún cuando hay pequeñas diferencias.

VI. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE PROBETAS CONSTRUÍDAS CON DIFERENTES TAMAÑOS DE ARENA PÓMEZ

Para investigar la variación de la resistencia en flexión y compresión de probetas construídas con diferentes tamaños de arena pómez y de río, fue necesario hacer diferentes mezclas.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ELABORADAS

MEZCLA No.	PROPORCION EN PESO	REL. A/C	No. DE TAMIZ UTILIZADO EN LA PREPARACION DE LA ARENA POMEZ
M1	1:2	0.62	1/4 "
M2	1:2	0.55	16
M3	1:2	0.62	4
M4	1:2	0.54	8

Para todas las mezclas se mantuvo la misma trabajabilidad, utilizando para ello la tabla de flujo y un escurrimiento constante con el mismo procedimiento usado en pruebas de cemento.

6.1 PREPARACION DE PROBETAS CON DIFERENTES TAMAÑOS DE AGREGADOS:

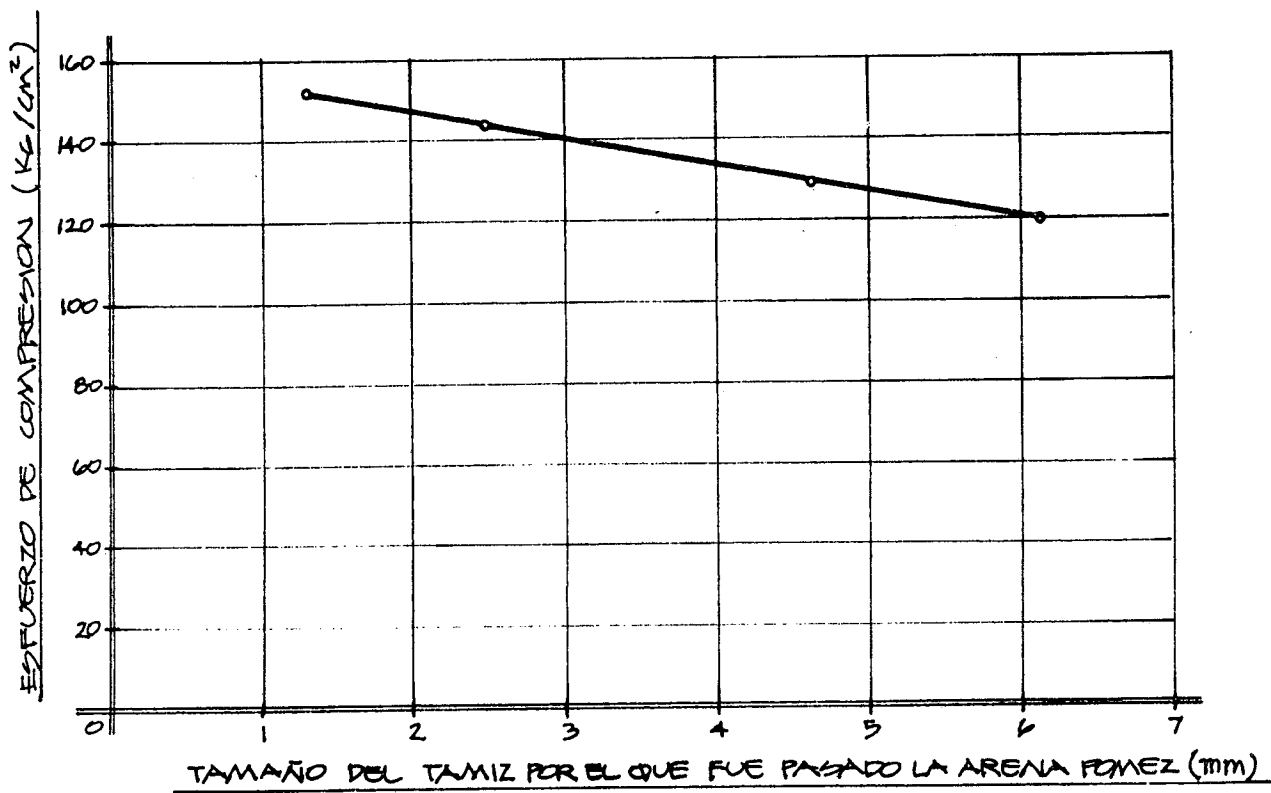
Para la preparación de probetas de compresión, se usó el mismo procedimiento que para la fabricación de probetas de morteros de cemento, tal como se especifica en ASTM C-109.

Por otra parte, se evaluó el comportamiento de las diferentes mezclas en flexión, utilizando espesores bajos de la misma forma que se utilizan en Ferrocemento.

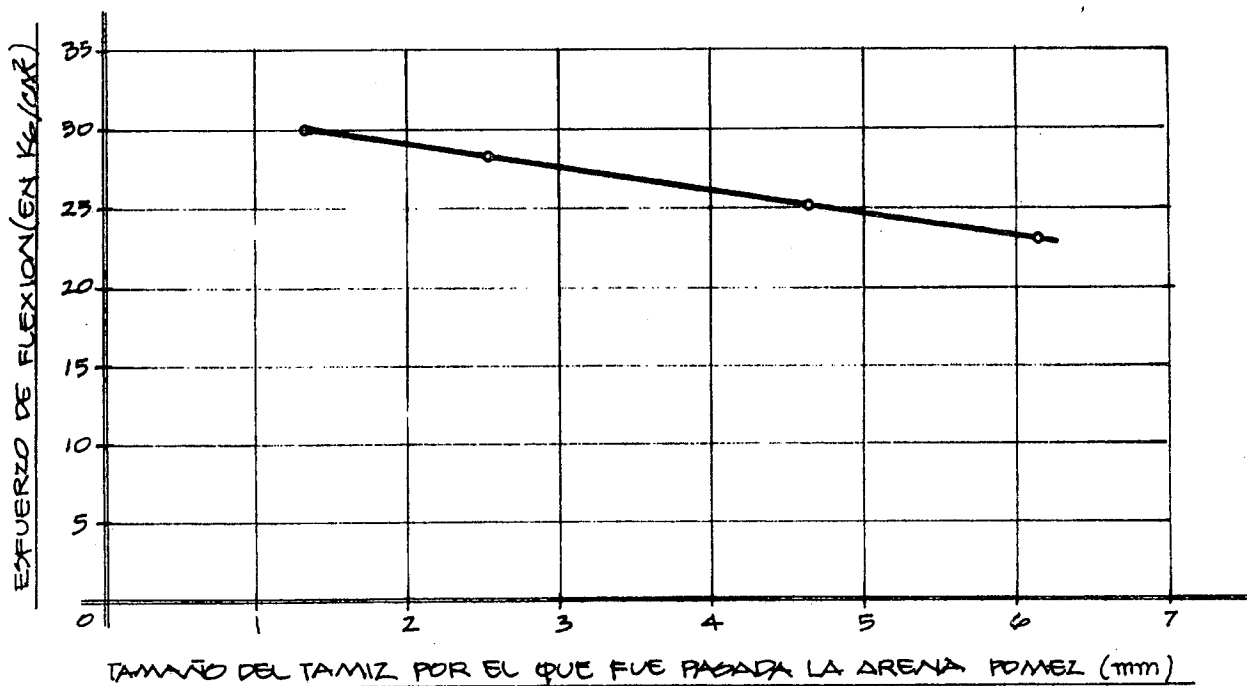
RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

MEZCLA No.	ESFUERZO DE FLEXION (kg/cm ²)	ESFUERZO DE COMPRESION (kg/cm ²)
1	25.39	148.27
2	25.41	152.39
3	20.91	96.11
4	30.48	143.31

Los resultados en detalle pueden consultarse en las tablas 1-4 del apéndice "B".



GRAFICA ESFUERZO DE COMPRESION-TAMAÑO DEL AGREGADO (ARENA POMEZ)



GRAFICA ESFUERZO DE FLEXION-TAMAÑO DEL AGREGADO (ARENA POMEZ)

En las gráficas anteriores puede observarse que a medida que disminuye el tamaño del agregado, aumenta la resistencia de compresión y flexión, puede notarse también que la diferencia no es muy significativa, ya que el incremento de esfuerzo no compensa el aumento del costo del agregado.

Por la economía de materiales y de mano de obra es indiscutible que el agregado conveniente es el que pasa por la malla de $1/4''$, ya que para usar material pasado por las otras se requiere de mayor tiempo debido a que la operación se hace más difícil, además el desperdicio es mucho mayor. Agregados de mayor tamaño no conviene usar porque produce mayores filtraciones y concentraciones de esfuerzos en virtud de los bajos espesores usados en Ferrocemento.

VII. APLICACIÓN A BÓVEDAS DE FERROCEMENTO DE MORTERO LIVIANO DE PÓMEZ Y DE ARENA DE RÍO

El Ferrocemento representa múltiples usos y dentro de la infinidad de aplicaciones, este estudio se ha volcado en su aplicación para techos de bajo costo. Los techos construídos presentan las siguientes características: Concreto liviano de pómez o mortero de arena de río, acero de refuerzo de pequeño diámetro ($1/4''$), malla hexagonal de alambre, es característica principal también, la geometría seleccionada, tal como en el estudio anterior a éste, se conserva la forma de la parábola por las ventajas que ya se conocen. (Ref. 2).

7.1 SELECCION DE LA MALLA DE REFUERZO Y TAMAÑO DEL AGREGADO DEL MORTERO DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

La selección de la malla de refuerzo y el tamaño del agregado

se llegó a determinar para el caso de bóvedas de ferrocemento de acuerdo a los estudios preliminares, teniendo presente la finalidad del estudio. Se escogió la malla hexagonal de 1/2" por su bajo costo y resultados aceptables, las características de esta malla y la malla cuadrada son:

	<u>TIPO DE MALLA</u>	
	HEXAGONAL Utilizada en Cubiertas	CUADRADA
Area de alambre	0.0033167 cm ²	0.006362
Esfuerzo máximo promedio	3919.7 kg/cm ²	3143.67 kg/cm ²
Peso por unidad de superficie	0.60 kg/cm ²	0.95 kg/cm ²
No. de alambres por unidad de longitud	151 alambres/m	82 alambres/m

Considerando el mejor aprovechamiento del material, los agregados se utilizaron tamizados a partir de la malla de 1/4", evitando de esta forma el incremento de los gastos de operación producido por el tiempo perdido en la tamización y el desperdicio de material, que para agregados muy finos llega a ser hasta del 50% y 60%.

7.2 SELECCION DEL SISTEMA A UTILIZAR:

Para la fundición de bóvedas de ferrocemento se utilizó una formaleta de madera. La formaleta presenta los siguientes componentes: dos módulos de madera contrachapeada, uno de 1.50 m. de largo y

otro de 2.00 m de largo, ambos apoyados sobre muros separados a 3.00 m de luz, los cuales cubren un área total de 15 m cuadrados. La formaleta se diseñó para generar un arco parabólico de 0.15 m de contraflecha máxima y apoyada sobre parales de madera de pino rústico.

Los apoyos de las bóvedas fueron muros de mampostería, paralelos entre sí, de 7 m de largo, con una altura de 2.50 m y con 3 m de luz entre muros.

La Diferencia básica entre estos techos y los construídos anteriormente estriba en las dimensiones y el porcentaje de refuerzo utilizado.

VIII. PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN

El procedimiento utilizado en la construcción se sintetiza en los siguientes pasos:

- 8.1 Area de trabajo
- 8.2 Construcción muros y apoyos
- 8.3 Preparación de formaleta
- 8.4 Formaleta y tratamiento de formaleta para facilitar el desenconfrado
- 8.5 Colocación de malla de refuerzo
- 8.6 Colocación de varillas de refuerzo
- 8.7 Tensado de la malla
- 8.8 Preparación de la mezcla
- 8.9 Fundición de la bóveda
- 8.10 Curado
- 8.11 Desencofrado

8.1 AREA DE TRABAJO:

Es importante que el área que se elija para la construcción de las cubiertas esté bien nivelada. En este caso se utilizó un área destinada por el C.I.I. exclusivamente a trabajos de investigación. El área que se empleó fue la misma donde se construyeron los muros para el estudio anterior a este.

8.2 CONSTRUCCION DE MUROS U OTRO TIPO DE APOYOS:

Para la elaboración de cubiertas de Ferrocemento tipo abovedado se debe contar con cuatro apoyos o con dos muros del largo de la cubierta como mínimo, en este caso se utilizaron dos muros de mampostería. Una vez se ha llegado a la construcción de muros se describe la forma en que las cubiertas fueron construídas.

8.3 PREPARACION DE FORMALETA:

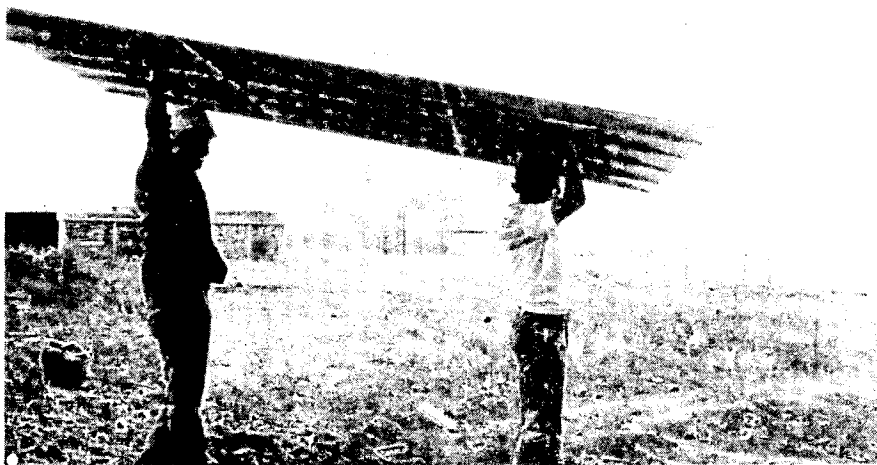
En la construcción de cubiertas de Ferrocemento se debe contar previo a su elaboración con formaleta de madera contrachapeada o de preferencia otro material más durable que cubra el área deseada. Estudiar el mecanismo adecuado, para que al quitarla sea en forma rápida y fácil. También se debe tener presente la posición de paralelos y tendales.

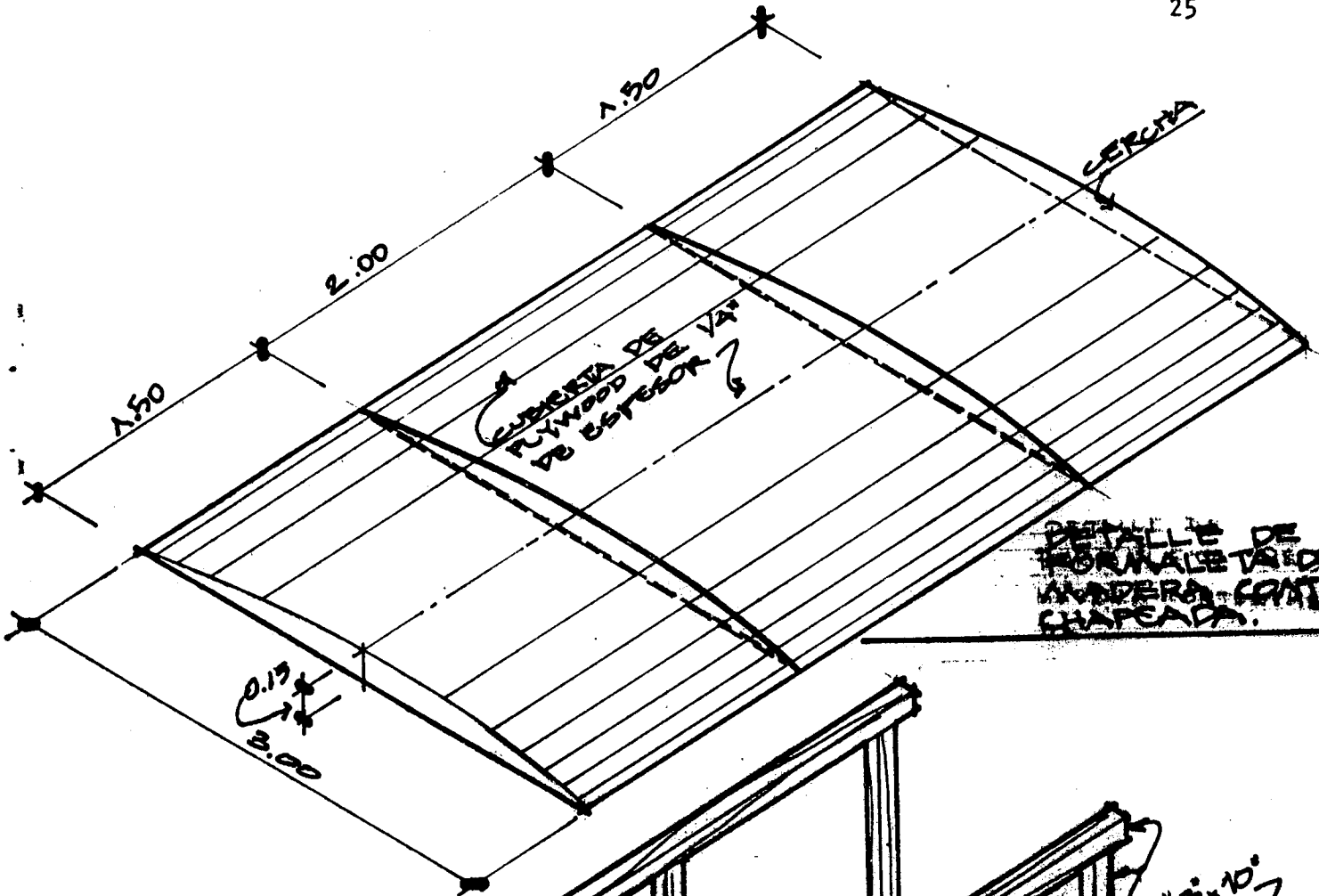
8.4 PROTECTOR DE LA FORMALETA:

Si se desea se puede colocar polietileno como protector o simplemente echarle aceite quemado, lo que facilitará grandemente el desencofrado. Si se protege la formaleta con polietileno de debe tener el cuidado de que éste quede perfectamente tensado para evitar un mal acabado de la cubierta. Si se utiliza aceite quemado, dará un acabado más rústico pero agradable.

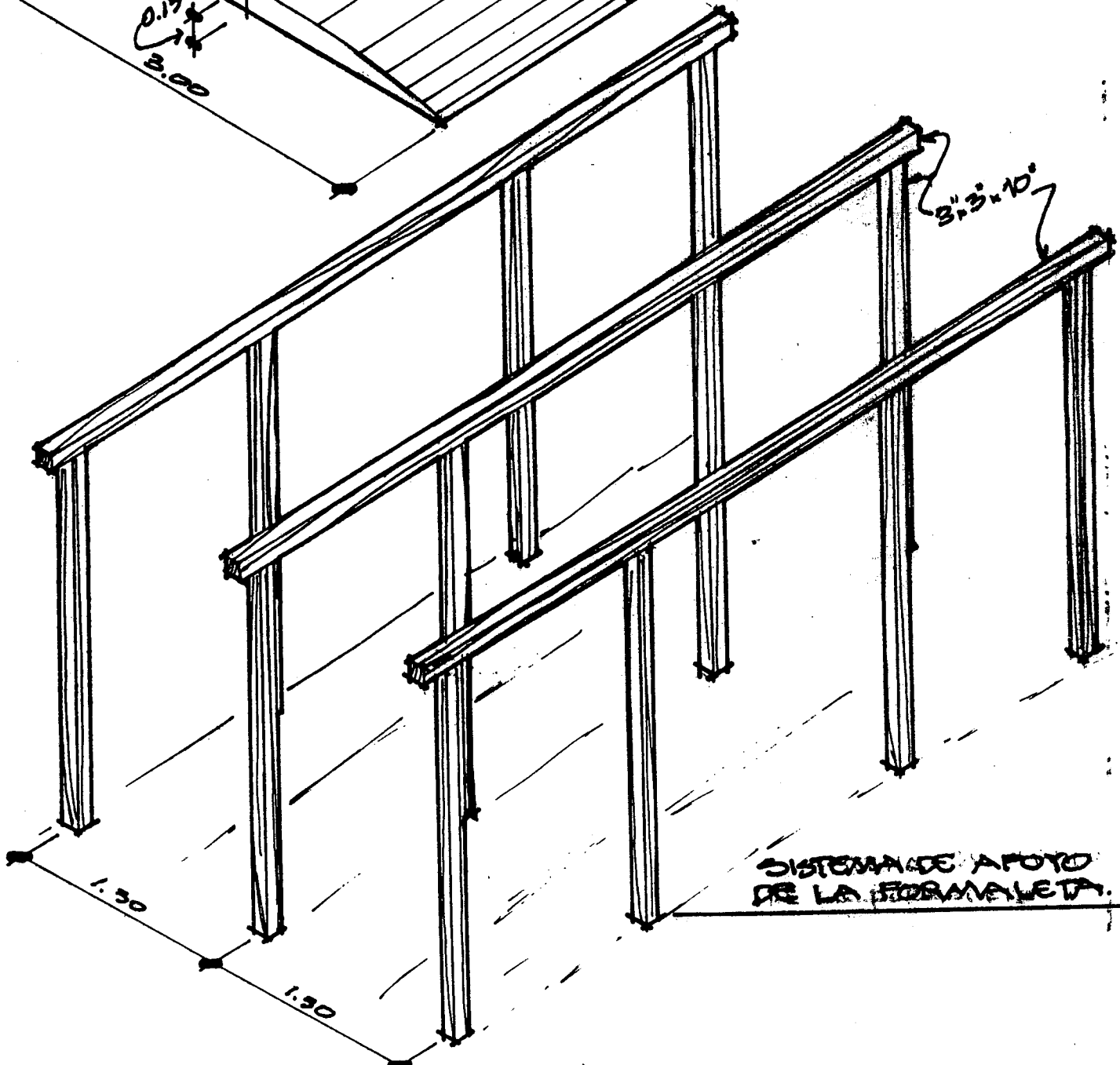


MODULOS DE MADERA CONTRACHAPEADA UTILIZADOS COMO FORMAleta





DETALLE DE FORMALETA DE MADERA CONTRA-CHAPADA.



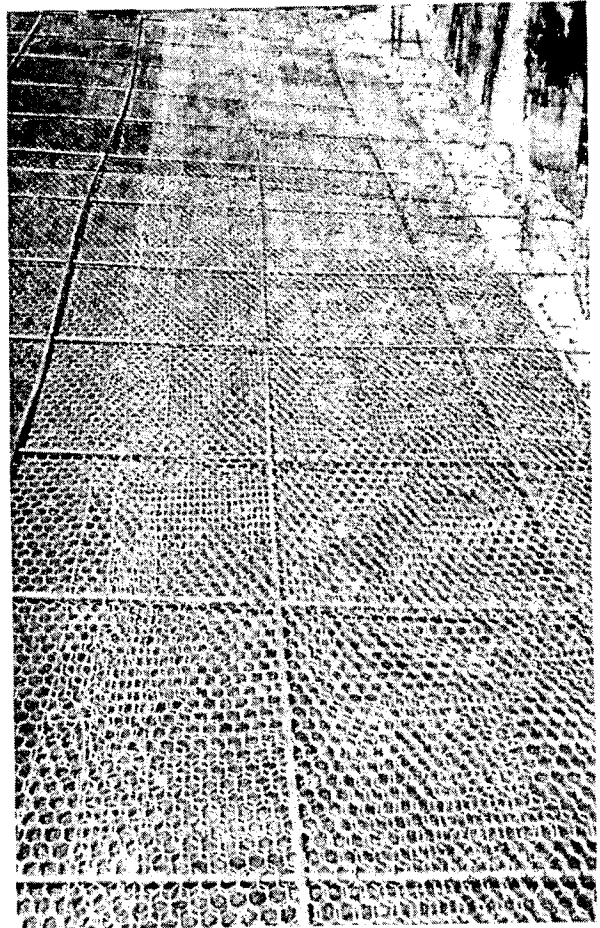
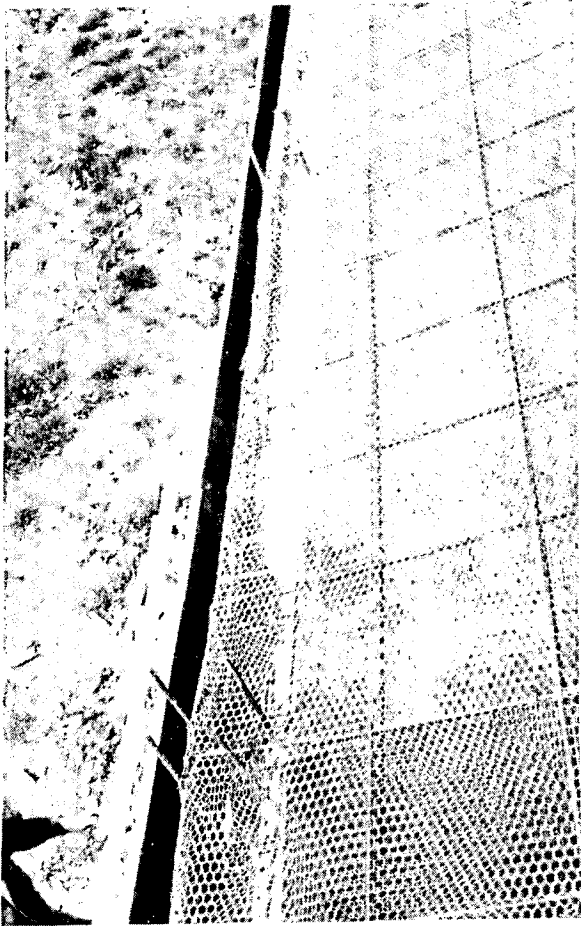
SISTEMA DE APOYO DE LA FORMALETA.

8.5 COLOCADO DE LA MALLA HEXAGONAL:

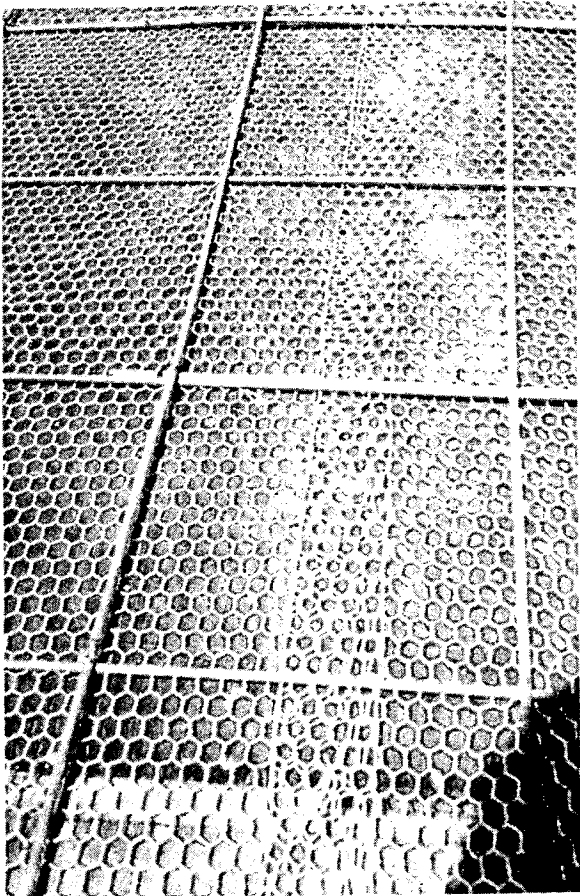
En la colocación de la malla se debe tener mucho cuidado, ya que de esto depende que se obtengan resultados positivos. Se ha dicho anteriormente que en la malla hexagonal de 1/2" el entorchado favorece la resistencia en flexión, por lo que debe cortarse la malla en el sentido corto de la bóveda, cubriendo así el área a construir, pero dejando unos 0.15 m por lado para anclarlo en la solera superior. Si se facilita más el otro sentido de la malla puede usarse sin duda alguna. Así pues, lo que importa más es la velocidad de operación y no el sentido de la malla.

8.6 COLOCACION DE VARILLAS DE REFUERZO:

Las varillas de refuerzo de diámetro 1/4" deben colocarse a 30 cms. en ambos sentidos, las de sentido más largo deben dejarse un poco más largas de 5 mts. con el fin de elaborar con ellas mismas los tímpanos de la bóveda, y las del sentido más corto deben dejarse un poco más largas de 3 mts. para proporcionar un buen anclaje a la solera superior. Ya colocadas las varillas de refuerzo, es recomendable colocar otra capa de malla en las zonas en donde los momentos sean críticos con el fin de evitar fallas prematuras, es decir, cerca de los muros, ya que por experiencia se sabe que es donde se producen las fallas.



B



**DETALLES DEL COLOCADO DEL RE-
FUERZO:**

- A. ANCLAJE EN SOLERA SUPERIOR
- B. REFUERZO DE LA ZONA CRITICA
- C. TRASLAPE DE LA MALLA Y COLO-
CACION DE VARILLAS.

C

8.7 TENSADO DE LA MALLA:

Este es un trabajo laborioso pero de importancia, se debe tratar que quede bien tensada la malla con el fin de que el esfuerzo quede uniformemente distribuido y para evitar que se formen ondulaciones, lo que perjudicaría el comportamiento estructural de la cubierta, es de especial importancia que el refuerzo se coloque en la posición correcta. Para este trabajo se emplean tensores elaborados con pedazos de varillas de 1/4".

8.8 PREPARACION DEL MORTERO A UTILIZAR:

A) Mortero de arena pómez:

De acuerdo a los estudios realizados anteriormente, se recomienda que la proporción más adecuada en la construcción de bóvedas con mortero de arena pómez sea de 1:2 en peso. El agua debe agregársele hasta lograr que el mortero sea trabajable, simultaneamente se agrega el inclusor de aire. Para determinar la trabajabilidad del mortero se tomó en cuenta el contenido de agua y la plasticidad, para evitar la reducción de esfuerzo a compresión y la disgregación de la mezcla. Se lograron resistencias a la compresión a 28 días de 120 Kg/cm². Las características de la mezcla fueron:

PROPORCION EN PESO	TIPO ARENA	INCLUSOR DE AIRE	ASENTAMIENTO
1:2	Pómez Tamiz 1/4"	2 onza/saco	15 cm

B) Mortero de arena de río:

La relación en peso con mortero de arena de río utilizado fue de 1:3 y el procedimiento es similar al anterior hasta lograr la trabajabilidad de la mezcla. Se lograron resistencias a la compresión a los 28 días de 208 Kg/cm^2 . Las características del mortero de arena de río fueron:

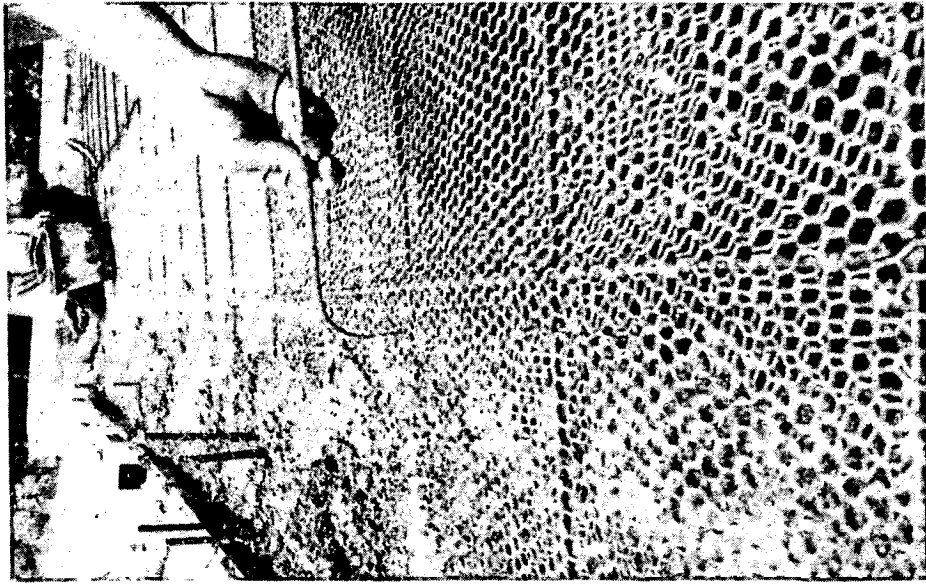
PROPORCION EN PESO	TIPO ARENA	INCLUSOR DE AIRE	ASENTAMIENTO
1:3	Arena río Tamiz 1/4"	2 onza/saco	17,5 cm

Debe, en ambos casos, tenerse un buen control de calidad, ya que esta etapa puede ser determinante en el comportamiento de la cubierta.

8.9 FUNDICION DE LA BOVEDA:

En la fundición del techo se debe tener el cuidado que el mortero penetre bien sobre todo en los tímpanos, para evitar loque-
dades u otros defectos que no solo alteren el comportamiento estructural de la cubierta sino que proporcionen una mala apariencia.

Esta operación puede llevarse a cabo en dos etapas para mayor facilidad, la primera consiste en colocar el mortero o concreto de recubrimiento o sea la mezcla que se coloca debajo del refuerzo, esta es la etapa que más tiempo requiere. La segunda bachada es la que sirve para dar el espesor final al elemento.



FUNDICION DE LA CUBIERTA
GANCHO UTILIZADO PARA
EVITAR OQUEDADES



CUBIERTA
FUNDIDA

Se considera también parte de la fundición, el acabado final que se da externamente para favorecer la impermeabilización por medio de un cernido de arena de río fina con cemento, cal y agua. Esta etapa debe realizarse tan inmediatamente como sea posible después de colocadas las bachadas anteriores.

8.10 CURADO:

Luego de la fundición, se hizo una especie de pileta sobre el techo con el objeto de llenarla de agua para favorecer la hidratación del cemento. El agua permaneció sobre el techo por 7 días.

8.11 DESENCOFRADO:

Después de quitar el agua de curado, fue removida la formaleta. Es de hacer notar que previo a la fundición del techo hay que determinar algunos detalles para facilitar la operación de desformateo, ya que la madera de la formaleta al hacer contacto con el mortero, tiende a expanderse y a producir fuertes presiones entre sus miembros, es aconsejable colocar cuñas entre módulos como una de las mejores soluciones. Si se utilizan formaletas metálicas, el problema se solventa.

IX. ENSAYOS SOBRE TECHOS

Pruebas de carga estática y permeabilidad se realizaron sobre los techos construídos.

9.1 PRUEBAS DE CARGA VERTICAL:

Estas pruebas se realizaron aplicando cargas en incrementos iguales y haciendo las lecturas de deflexiones correspondientes. Para la aplicación de la carga se utilizaron cilindros de con-

creto de 0.15 m de diámetro y 0.30 m de largo, para su colocación se tuvo especial cuidado de lograr una distribución uniforme. La aparición de grietas, que fue lo que predominó sobre la deflexión máxima permitida por ACI, indicó en cada caso la suspensión del incremento de carga, luego de permanecer esta carga por 24 horas, se descargó y se tomaron lecturas de deflexiones para establecer la recuperación del sistema.

9.2 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD:

Se ha venido observando que es necesario darle un tratamiento a las bóvedas para evitar filtraciones, ya que en los estudios realizados se observan que sí presentan filtraciones.

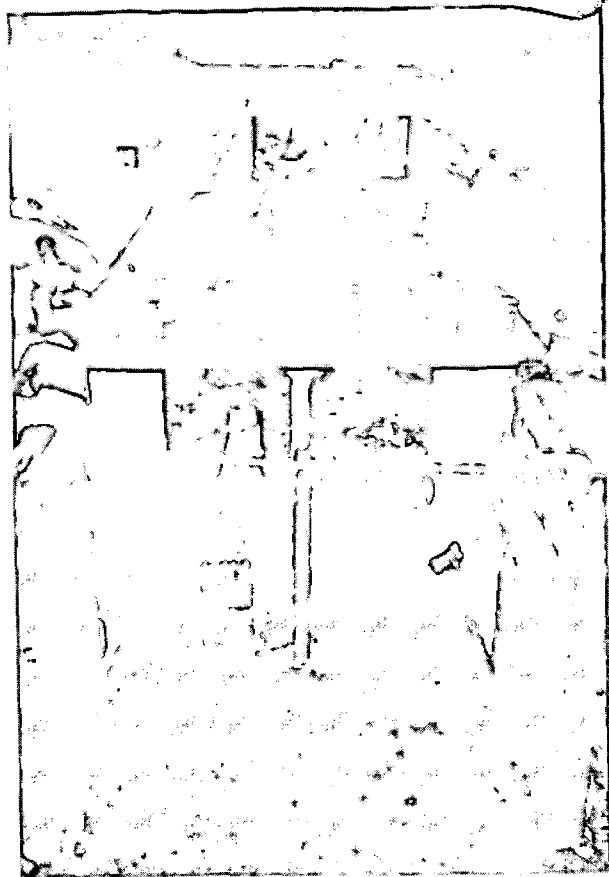
En las pruebas de permeabilidad realizadas sobre el techo se eligió una sola prueba de permeabilidad con una columna de agua de 30 cm. sobre una superficie de 530 cm² de bóveda, 24 horas después se detectó la presencia de humedad en la superficie inferior del techo.

La época lluviosa sirvió para evaluar esta condición y la mayoría de bóvedas mostraron la presencia de humedad.

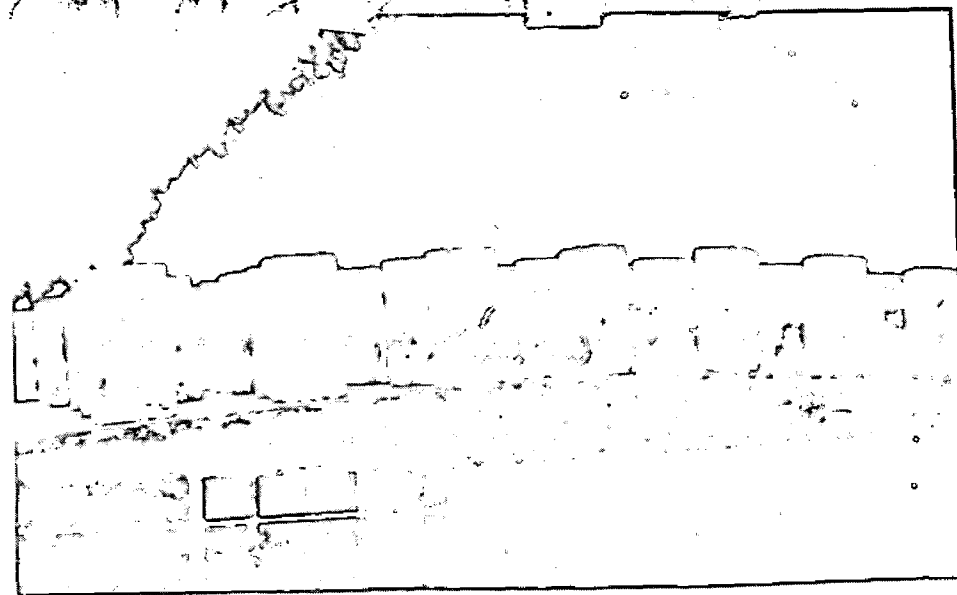
En una bóveda cuya superficie exterior fue tratada con un mortero fino de cemento y arena de río se impermeabilizó completamente, lo cual indica que es un problema solucionable, pero objeto de otro estudio.

9.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA:

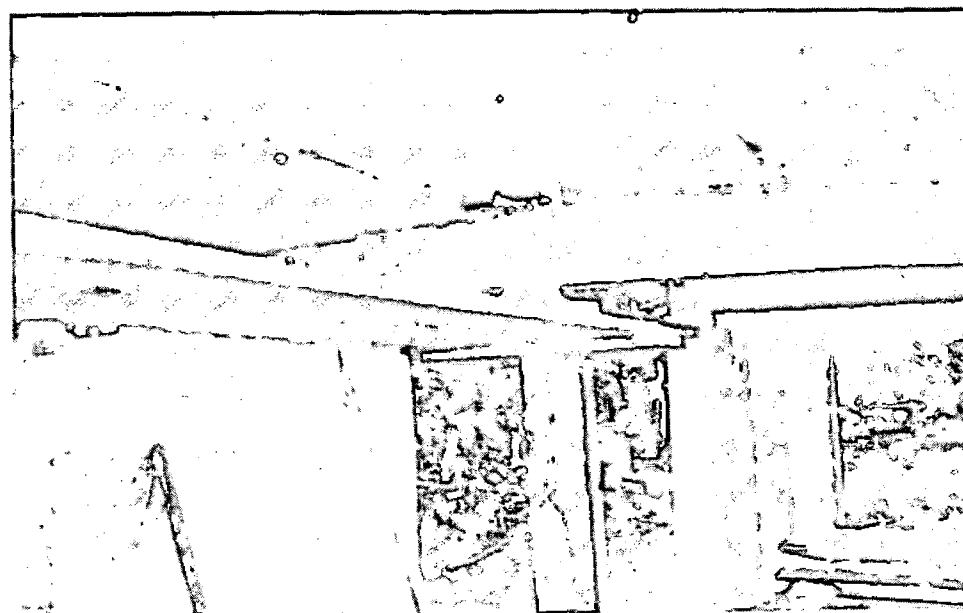
Las gráficas siguientes demuestran el comportamiento de los techos bajo cargas estáticas. Las tablas que contienen los resultados de los ensayos pueden consultarse en el apéndice "C".



A



B

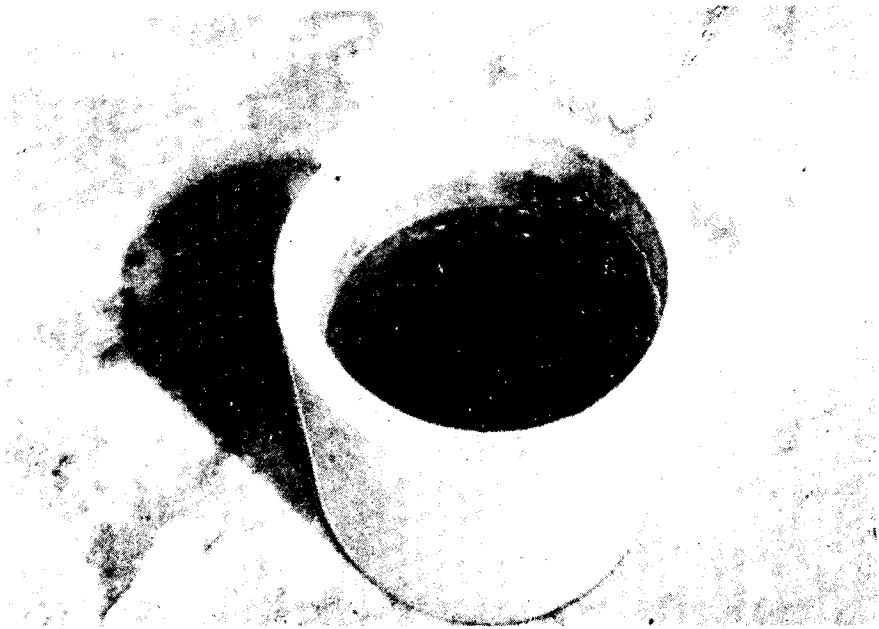


C

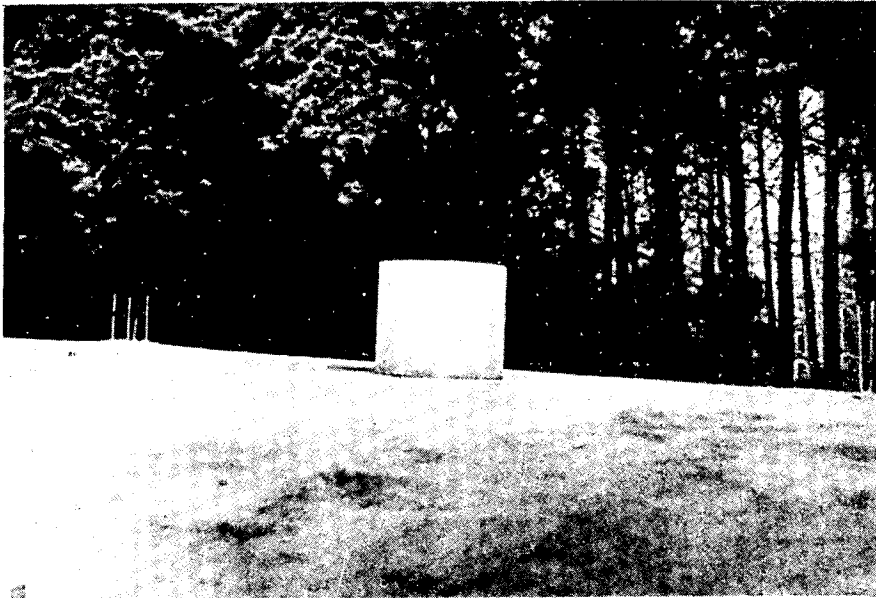
ENSAYOS DE CARGA

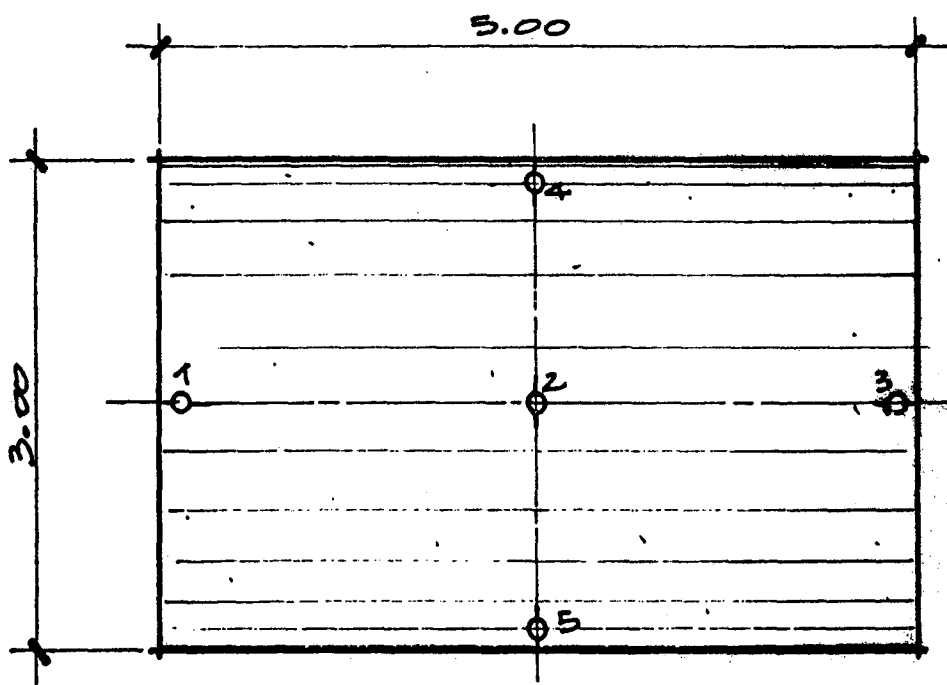
A y B SISTEMA DE CARGA UTILIZADO

C MEDIDOR DE DEFLEXIONES

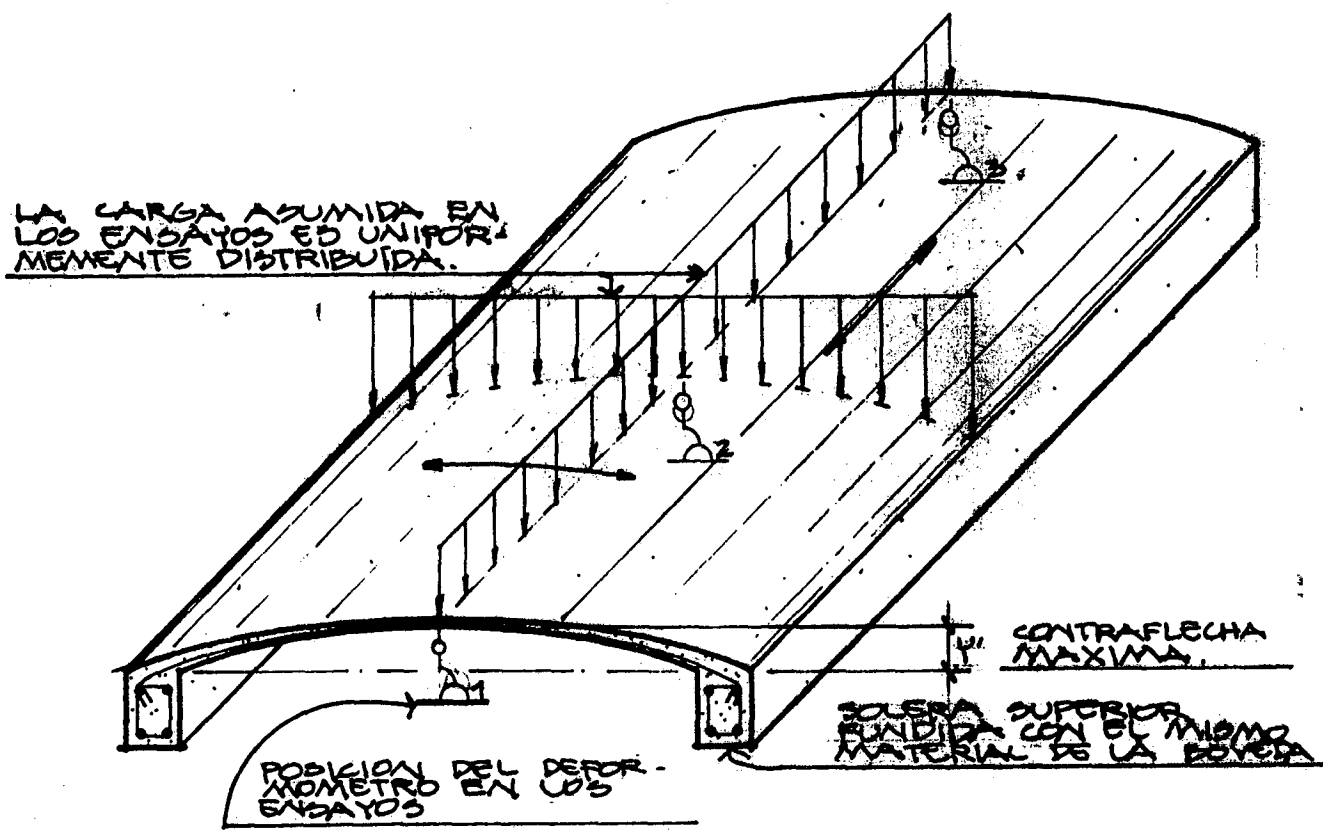


PRUEBA DE PERMEABILIDAD





LOCALIZACION DE DEFORMOMETROS



LA CURVATURA ES GENERADA POR LA ECUACION DE UNA PARABOLA $y = 4F(1-x/L)x/L$ (REF.2)

9.4 EVALUACIÓN FINAL DE RESULTADOS:

El comportamiento bajo cargas de la bóveda No. 2, proporcionó mejores resultados que la bóveda No. 1, las características principales de éstas fueron:

No. DE BOVEDA	TIPO DE MORTERO	CAPAS DE REFUERZO Y SENTIDO DEL ENTORCHADO	CARGA A LA PRIMERA FALLA (Kg/m ²)	DEFLEXION PRIMERA FALLA mm	CARGA MAXIMA Kg/m ²	DEFLEXION MAXIMA mm
1	Liviano de pómez.	*1 capa entorchado en sentido longitudinal	121	6.80	139	8.25
2	Arena de río	*1 capa entorchado en sentido longitudinal	190	5.25	208	5.65

* 2 capas en la cercanía de los apoyos.

Se observa que la única diferencia es el tipo de mortero utilizado, ya que el procedimiento en la construcción fue exactamente el mismo y el refuerzo fue también igual. El techo construido con mortero de arena de río soportó cargas mayores con registro de deflexiones menores que la cubierta fundida con arena pómez. En ambos casos la falla se produjo mucho antes que se llegara a la deflexión máxima permisible establecida por ACI.

Prácticamente, lo mismo ocurrió en bóvedas más reforzadas. Los techos números 3 y 4 tuvieron las características siguientes:

No. DE BOVEDA	TIPO DE MORTERO	CAPAS DE REFUERZO Y SENTIDO DEL ENTORCHADO.	CARGA A LA PRIMERA FALLA (Kg/m ²)	DEFLEXION PRIMERA FALLA mm	CARGA MAXIMA Kg/m ²	DEFLEXION MAXIMA mm
3	Arena de río	2 capas, entorchado en el sentido de la curvatura	208	5.75	243	6.82
4	Liviano de pómez	2 capas, entorchado en el sentido de la curvatura	121	3.15	191	5.70

Se observa mejor comportamiento bajo cargas en techos fundidos con mortero de arena de río, los techos números 3 y 4 se construyeron con el mismo sistema, la única variación es el tipo de mortero.

Por otro lado, una comparación entre techos construídos con el mismo mortero proporciona la información siguiente:

No. DE BOVEDA	TIPO DE MORTERO	No. CAPAS DE REFUERZO Y SENTIDO DEL ENTORCHADO	CARGA A LA PRIMERA GRIETA (Kg/m ²)	DEFLEXION A LA PRIMERA GRIETA mm	CARGA MÁXIMA Kg/m ²	DEFLEXION MAXIMA mm
1	Liviano de pómez	*1 capa, entorchado en sentido longitudinal	121	6.80	139	8.25
4	Liviano de pómez	2 capas, entorchado en sentido de la curvatura	121	3.15	191	5.70

* 2 capas en la cercanía de los apoyos.

NOTA: Antes de la primera grieta, se observaron grietas en los tímpanos, los cuales no afectan el comportamiento del techo de manera determinante.

La carga a la primera grieta, que en todo caso es la que se toma como medio de comparación, fue la misma, esto comprueba los ensayos preliminares realizados en probetas pequeñas, lo cual ya se discutió en su oportunidad.

De una manera similar pueden compararse los resultados obtenidos en los ensayos de las bóvedas 2 y 3 construídas con mortero de arena de río, un análisis de ellos permite llegar a la misma determinación que para los techos construídos con concreto liviano de pómez, ya que las cargas a la primera grieta fueron de 190 Kg/m² para la bóveda No. 2, y de 208 Kg/m² para la bóveda No. 3, las deflexiones para esas cargas también fueron similares.

En todos los casos no se llegó a la deflexión máxima que indica ACI, por lo que la capacidad de las cubiertas estuvo determinada por fallas apreciables; las cuales ocurrieron siempre de 0.40 m a 0.50 m del rostro exterior de los muros de apoyo.

De las anteriores combinaciones, se establece que los techos construídos tienen las siguientes capacidades:

TIPO DE MORTERO	CANTIDAD Y COLOCACION DEL REFUERZO	CARGA PRIMERA GRIETA (Kg/m ²)	DEFLEXION PRIMERA GRIETA mm	CARGA MAXIMA Kg/m ²	DEFLEXION MAXIMA mm
Concreto Liviano de pómez	Cualquiera de los utilizados en este estudio	121	6.80	139	8.25
Mortero de arena de río	Cualquiera de los utilizados en este estudio.	190	5.75	208	6.82

En todos los casos en que pudo medirse la recuperación del sistema, se comprobó que pasó el mínimo establecido por ACI, siendo en el menor de ellos del 80%.

Las capacidades experimentales de estas cubiertas son similares a las obtenidas en bóvedas de menor longitud (3 x 3 m), investigadas en el estudio anterior, lo cual hace suponer de manera más evidente que este tipo de techo tiene el comportamiento de una bóveda tipo cañón, en la cual la separación de los tímpanos sería de menor importancia.

X. ANÁLISIS DEL COSTO

El costo de una bóveda de ferrocemento que cubre un área de 15 m² está calculado de la siguiente forma:

FORMALETA:

180 pies cúbicos de pino rústico (cerchas)	Q. 0.36 pie	Q.64.80
6 pliegos de madera contrachapeada de 4' x 8' x 1/4"	12.00 c/u	72.00
3 libras de tachuelón.	0.30 c/u	0.90
2 libras de clavo de 3"	0.40 c/u	0.80
2 libras de clavo de 4"	0.40 c/u	0.80
Hechura de formaleta	18.00	18.00
T O T A L		Q.157.30
120 pies de pino rústico (parales)	0.36 pie	43.20

Teniendo en cuenta que si realizamos una formaleta de este tipo, puede ser utilizada en la construcción de siete bóvedas y los parales para utilizar hasta 12 techos, (Ref. 2), luego los costos se reducen en:

Formaleta	Q.157.30/7	Q.22.47
Parales	Q. 43.20/12.	3.60
COSTO TOTAL FORMALETA		Q.26.07

=====

MATERIALES:

22 varillas de acero de refuerzo de 1/4"	Q.24.00 qq	Q. 17.60
35.43 yardas de malla hexagonal de 1/2"	1.37 yda.	48.54
11 sacos de cemento	4.40 c/u	48.40
220 centímetros cúbicos de aditivos.	2.12 lit.	0.47
S U B - T O T A L		Q.115.01
1 metro cúbico de arena pómez	7.00 m ³	7.00
ó		
1 metro cúbico de arena río	8.00 m ³	8.00
COSTO TOTAL MATERIALES CON ARENA POMEZ		Q.122.01
COSTO TOTAL MATERIALES CON ARENA DE RIO.		123.01

MANO DE OBRA:

2 albañiles 5 días	Q.5.00 día	Q. 50.00
2 ayudantes 5 días	3.00 día	30.00
		<u>Q. 80.00</u>
		=====

CUADRO RESUMEN DE COSTOS

	BOVEDA CON CON- CRETO LIVIANO DE POMEZ	%	BOVEDA CON MOR- TERO DE ARENA DE RIO	%
FORMALETA	Q. 26.07	13.94	Q. 26.07	13.86
MATERIALES	122.01	65.22	123.01	65.40
MANO DE OBRA	80.00	20.84	80.00	20.74
COSTO TOTAL	Q.228.08	100.00	Q.229.08	100.00

COSTO UNITARIO:

$$\text{Con arena pómez} = \frac{0.228.08}{15\text{m}^2} = 0.15.21/\text{m}^2$$

$$\text{Con arena de río} = \frac{0.229.08}{15\text{m}^2} = 0.15.27/\text{m}^2$$

El costo de las cubiertas construídas en esta investigación no experimentó ninguna variación en relación con el costo de los techos construídos en el estudio anterior. Se deduce que no existe cambio de costo para bóvedas de diferentes longitudes, y el comportamiento resultó también similar. Para aplicaciones en serie, los costos pueden reducirse en los materiales, puede haber una variación también en la mano de obra, sobre todo en el área rural o cuando se utilizen sistemas de autoconstrucción.

XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. Las bóvedas de ferrocemento de tres metros de luz y cinco metros de longitud que se estudiaron, rebasan las cargas mínimas para techos, por lo que pueden construirse para viviendas económicas, con amplio margen de seguridad.
2. Los techos construídos con concreto liviano de pómez son muy aceptables. Las bóvedas construídas con mortero de arena de río superan en capacidad para soportar cargas estáticas a las anteriores.
3. De acuerdo con los resultados, las bóvedas indican comportarse como un elemento tipo cañón, en el cual la separación de los tímpanos es de menor interés.
4. Las mallas que más se adecúan a los elementos son del tipo hexagonal, (especialmente 1/2"), ya que no sólo proporcionan fallas lentas sino que su costo es más bajo.
5. Se notó un leve incremento de la resistencia en flexión en probetas pequeñas de ferrocemento, debido a la variación del refuerzo, sin embargo, el incremento de refuerzo no compensa el aumento del costo. Este aumento de resistencia se comprobó en los techos a escala natural, pero tampoco fue significativa para el fin que se persigue.
6. Se comprobó que en el mercado existen diferencias entre las mallas que tienen la misma forma y tamaño, especialmente en mallas hexagonales, existen algunas entorchadas y otras trenzadas, lo cual es

importante, ya que en algunos casos la falla se ocasionó por desentorche sin producir estiramiento en el refuerzo.

7. A pesar que se encontró alguna diferencia al usar mallas hexagonales en diferentes direcciones, ésta no fue significativa, se concluye que lo más práctico es colocar la malla de refuerzo en la dirección que represente menos esfuerzo, lo cual puede variar dependiendo de las condiciones de cada caso.
8. La resistencia en flexión y compresión utilizando diferentes tamaños de arenas varía, pero muy poco. Mientras la arena es más fina se logran resistencias ligeramente mayores. Sin embargo, arenas muy finas complican más las operaciones y el costo de la mano de obra sube.
9. El costo de las bóvedas resulta menor que otros tipos tradicionales y sigue manteniendo el mismo valor que para las cubiertas estudiadas anteriormente (Q.15.00/m²).
10. Este tipo de techo tiene aceptación entre la población, ya ha sido puesto en práctica con buenos resultados. Ya que el sistema es una cubierta simple, su aplicación puede extenderse a usos muy variados, como cubiertas para bodegas, garages, etc. Como ejemplo de un caso real ya se tiene la construcción de garitas de 42 metros cuadrados cubiertas con el sistema aquí estudiado, en una industria situada en el kilómetro 16.5 de la carretera a El Salvador. Otro ejemplo de su aplicación se encuentra en una vivienda situada en la Colonia El Tesoro, Zona 11, donde se cubrió un área de 24 metros cuadrados.

11. La recuperación que tuvieron los techos al retirarse las cargas a que fueron sometidas fueron buenas, ya que pasaron los límites establecidos.

RECOMENDACIONES:

1. Se recomienda el uso de estos techos para viviendas de un sólo nivel, ya que se prevén estudios experimentales para poder determinar su eficiencia como entrepiso.
2. Se recomienda utilizar mallas hexagonales trenzadas de 1/2" en vez de las entorchadas.
3. Se recomienda dar un acabado final a la superficie exterior de los techos lo más pronto posible después de la fundición, con el objeto de proporcionar una protección de características impermeables.
4. Utilizar dos capas de malla en la parte cercana a los apoyos y una sólo capa en el resto de la superficie.
5. Se recomienda buen control de calidad del mortero y un curado constante durante 7 días mínimo.
6. Se recomienda el uso de mortero de arena de río preferentemente, porque tienen mejores características y su costo es relativamente el mismo que para el concreto liviano de pómez. Sin embargo, cuando no se dispone de arena de río, el concreto liviano de pómez la sustituye eficientemente.
7. Se recomienda trazar un plan de seguimiento, de preferencia con organismos oficiales para poder aplicar estas nuevas técnicas, que

puedan contribuir de manera práctica y económica al problema habitacional de nuestro medio.

8. Difundir dentro de la Universidad y fuera de ella los conocimientos técnicos adquiridos. Promover el intercambio de información con otras instituciones afines, a nivel nacional e internacional.
9. Con las experiencias logradas, se recomienda elaborar una cartilla técnica sobre construcción de techos de ferrocemento, para promover los sistemas constructivos y difundir la técnica dentro del personal de albañilería.

XII. BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Pablo de Jesús Ocaña Munguia, Tesis
ESTUDIO SOBRE FERROCEMENTO LIVIANO A BASE DE POMEZ,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala,
Noviembre de 1979.
2. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz, Tesis
BOVEDAS DE FERROCEMENTO DE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ Y MORTERO
DE ARENA DE RIO PARA USO EN VIVIENDA ECONOMICA,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala,
Abril de 1981.
3. Ing. Aníbal Rodas M., Tesis
CONCRETO LIVIANO DE POMEZ, METODO DE PROPORCIONAMIENTO Y CORREC-
CION DE MEZCLAS, Y METODOS PARA MEDIR SU TRABAJABILIDAD EMPLENADO
AGREGADO DEL VALLE DE GUATEMALA, Universidad de San Carlos de
Guatemala, Guatemala, Abril de 1969.
4. Ing. Jorge Mario Morales González, Tesis
ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS
DE MORTEROS TIPICOS PARA LEVANTADO EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA,
1975.
5. National Academy of Sciences, Report
FERROCEMENT: APPLICATIONES IN DEVELOPING COUNTRIES,
Washington, D. C., February, 1973
6. Manual
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)
Part 13
7. REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO.
ACI-318-1977 Cap. 20
8. Dr. Jackes Valls y Prof. Ricardo Pama,
JOURNAL OF FERROCEMENT
International Ferrocement Information Center, Bangkok, Thailandia.
Vol. 9, 1979, No. 3 y 4; Vol. 10, 1980, No. 1, 3 y 4; Vol. 11, 1981,
No. 2.

APENDICE "A"

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE FLEXION EN PROBETAS ELABORADAS CON CONCRETO LIVIANO DE POMEZ, VARIACION DEL TIPO Y CANTIDAD DE MALLA DE REFUERZO

MUESTRA	LARGO cm	ANCHO cm	GROSOR cm	POSICION REFUERZO cm *	CARGA 1a. GRIETA Kg	CARGA ULTIMA Kg	PESO Kg	LUZ cm	OBSERVACIONES
M1-MS-A	50.00	14.80	2.60	----	----	20	2.804	40	-----
M1-MS-B	50.00	14.60	2.60	----	----	31	2.725	40	-----
M1-MS-C	50.00	14.50	2.55	----	----	26	2.600	40	-----
M1-1H-A	50.20	14.80	2.50	2.35	27	27	2.700	40	Malla desentorchada
M1-1H-B	50.30	14.80	2.50	2.30	29	29	2.737	40	Malla desentorchada
M1-1H-C	50.30	15.00	2.45	2.30	28	28	2.684	40	Malla desentorchada
M1-2H-A	50.10	15.10	2.50	2.25	31	31	2.800	40	Malla desentorchada
M1-2H-B	50.00	14.80	2.50	2.30	32	32	2.700	40	Malla desentorchada
M1-2H-C	49.90	13.70	2.50	2.10	32	32	2.540	40	Malla desentorchada
M1-1C-A	50.10	15.10	2.50	2.35	62	62	2.770	40	Malla falló bruscamente p/tensión.
M1-1C-B	50.00	14.60	2.50	2.30	57	60	2.700	40	Malla falló bruscamente p/tensión.
M1-1C-C	50.10	14.90	2.50	2.50	59.5	63	2.752	40	Malla falló bruscamente p/tensión.
M1-2C-A	50.20	15.00	2.60	2.35	119	119	2.900	40	Malla falló lentamente por tensión hasta desplomarse.
M1-2C-B	50.20	14.90	2.55	2.30	118.5	121	2.846	40	Malla falló lentamente por tensión hasta desplomarse.
M1-2C-C	50.20	15.10	2.25	2.25	105	105	2.880	40	Malla falló lentamente por tensión hasta desplomarse.
M1-1HSI-A	50.70	14.57	2.27	2.00	32	32	2.500	40	Malla falló lentamente p/tensión.
M1-1HSI-B	40.83	14.77	2.17	1.97	32	32	2.491	40	Malla falló lentamente p/tensión.
M1-1HSI-C	50.20	14.20	2.40	2.07	34	34	2.435	40	Malla falló lentamente p/tensión.
M1-2HSI-A	50.50	14.47	2.30	1.87	40	40	2.500	40	Malla falló lentamente p/tensión.
M1-2HSI-B	50.07	14.50	2.23	1.97	42	42	2.575	40	Malla falló lentamente p/tensión.
M1-2HSI-C	49.83	14.57	2.50	2.00	41	45	2.627	40	Malla falló lentamente p/tensión.

* Con respecto a la cara superior de la probeta.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE FLEXION EN PROBETAS ELABORADAS CON MORTERO DE ARENA
DE RIO, CON VARIACION DEL TIPO Y CANTIDAD DE MALLA DE REFUERZO

MUESTRA	LARGO cm	ANCHO cm	GROSOR cm	POSICION REFUERZO cm *	CARGA 1a. GRIETA Kg	CARGA ULTIMA Kg	LUZ	OBSERVACIONES
M2-SM-A	50.10	14.57	2.57	----	----	24	40	-----
M2-SM-B	50.30	14.90	2.63	----	----	84	40	-----
M2-SM-C	50.00	14.45	2.50	----	----	48	40	-----
M2-1H-A	50.00	14.90	2.51	2.05	75	75	40	Falla lentamente por desentorche..
M2-1H-B	50.20	15.10	2.48	1.81	70	70	40	Falla lentamente por desentorche.
M2-1H-C	50.10	15.10	2.51	1.98	75	75	40	Falla lentamente por desentorche..
M2-2H-A	50.60	14.90	2.91	2.53	100	100	40	Falla lentamente por desentorche.
M2-2H-B	50.30	15.10	2.74	2.33	---	---	40	Falla lentamente por desentorche.
M2-2H-C	50.40	15.00	2.63	2.15	80	80	40	Falla lentamente por desentorche.
M2-1C-A	50.70	14.72	2.30	2.20	75	75	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-1C-B	50.17	14.60	2.33	2.10	78	78	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-1C-C	50.10	14.77	2.27	2.07	72	72	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2C-A	50.10	14.50	2.53	2.33	131	131	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2C-B	50.70	14.50	2.50	2.20	123	123	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2C-C	50.70	14.63	2.63	2.30	133	133	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-1HSI-A	50.10	14.80	2.40	1.92	65	65	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-1HSI-B	49.90	14.90	2.34	1.87	65	65	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-1HSI-C	50.00	15.00	2.35	2.04	72	72	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2HSI-A	50.00	14.90	2.60	2.18	65	65	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2HSI-B	49.90	15.00	2.58	2.05	70	70	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.
M2-2HSI-C	49.90	14.90	2.48	2.15	77	77	40	Falla lentamente por tensión hasta des- plomarse.

* Con respecto a la cara superior de la probeta.

APENDICE "B"

TABLA No. "1"

RESULTADOS EN PROBETAS DE MEZCLA No. 1

MUESTRA	FLEXION Kg/cm ²	COMP. CUBOS Kg/cm ²
M1 - 1	23.94	144.16
M1 - 2	25.25	144.16
M1 - 3	-----	140.65
M1 - 4	27.74	147.68
M1 - 5	29.79	148.44
M1 - 6	25.68	163.50
M1 - 7	26.41	-----
M1 - 8	18.02	-----
M1 - 9	26.27	-----
PROMEDIO =	25.39	148.27
DESV. S. =	3.45	8.07

TABLA No. "2"

RESULTADOS EN PROBETAS DE MEZCLA No. 2

MUESTRA	FLEXION Kg/cm ²	COMP. CUBOS Kg/cm ²
M2 - 1	23.15	148.76
M2 - 2	22.99	148.76
M2 - 3	22.86	156.01
M2 - 4	26.18	146.94
M2 - 5	23.70	165.08
M2 - 6	24.32	148.76
M2 - 7	29.79	-----
M2 - 8	28.99	-----
M2 - 9	26.67	-----
PROMEDIO =	25.41	152.39
DESV. S. =	2.64	6.98

TABLA No. "3"

RESULTADOS EN PROBETAS DE MEZCLA No. 3

MUESTRA	FLEXION Kg/cm ²	COMP. CUBOS Kg/cm ²
M3 - 1	17.01	-----
M3 - 2	30.93	94.33
M3 - 3	22.26	81.63
M3 - 4	20.74	96.14
M3 - 5	17.97	101.59
M3 - 6	18.61	108.66
M3 - 7	18.84	94.33
PROMEDIO =	20.91	96.11
DESV. S. =	4.76	8.98

TABLA No. "4"

RESULTADOS EN PROBETAS DE MEZCLA No. 4

MUESTRA	FLEXION Kg/cm ²	COMP. CUBOS Kg/cm ²
M4 - 1	29.53	128.80
M4 - 2	26.10	134.24
M4 - 3	26.50	159.64
M4 - 4	28.16	150.57
M4 - 5	27.47	165.08
M4 - 6	33.80	121.54
M4 - 7	36.16	-----
M4 - 8	31.25	-----
M4 - 9	35.35	-----
PROMEDIO =	30.48	143.31
DESV. S. =	3.84	17.66

APENDICE "C"

BOVEDA No. 1

Fecha de ensayo 18 de junio de 1981

CARACTERISTICAS:

Luz libre entre apoyos 3.00 metros
 Longitud de bóveda 5.00 metros
 Tipo de mezcla utilizada Concreto liviano de pómez
 Dirección de la malla. Entorchado en el sentido longitudinal de los muros.
 La cantidad de malla hexagonal de 1/2" 1 capa en la zona de momento positivo (centro de la bóveda).
 2 capas en la zona de momento negativo (cerca de los apoyos).

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
17.33	46	42	30	8	2
34.67	102	91	88	16	--
52.00	156	158	142	35	--
69.33	220	236	215	54	--
86.67	275	360	273	76	**--
104.00	308	488	352	106	**--
121.33	438	694	552	238	***--
*138.67	---	---	---	---	****--

- * Carga máxima aplicada.
- ** Grieta en tímpanos.
- *** Grietas superficiales cercanas a muros como en losas anteriores en ambos lados.
- **** Ya no se puede medir deformación.

BOVEDA N. 1

CONTRAFLECHA: 0.15 M.

LUZ ENTRE APERTURAS: 3.00 M.

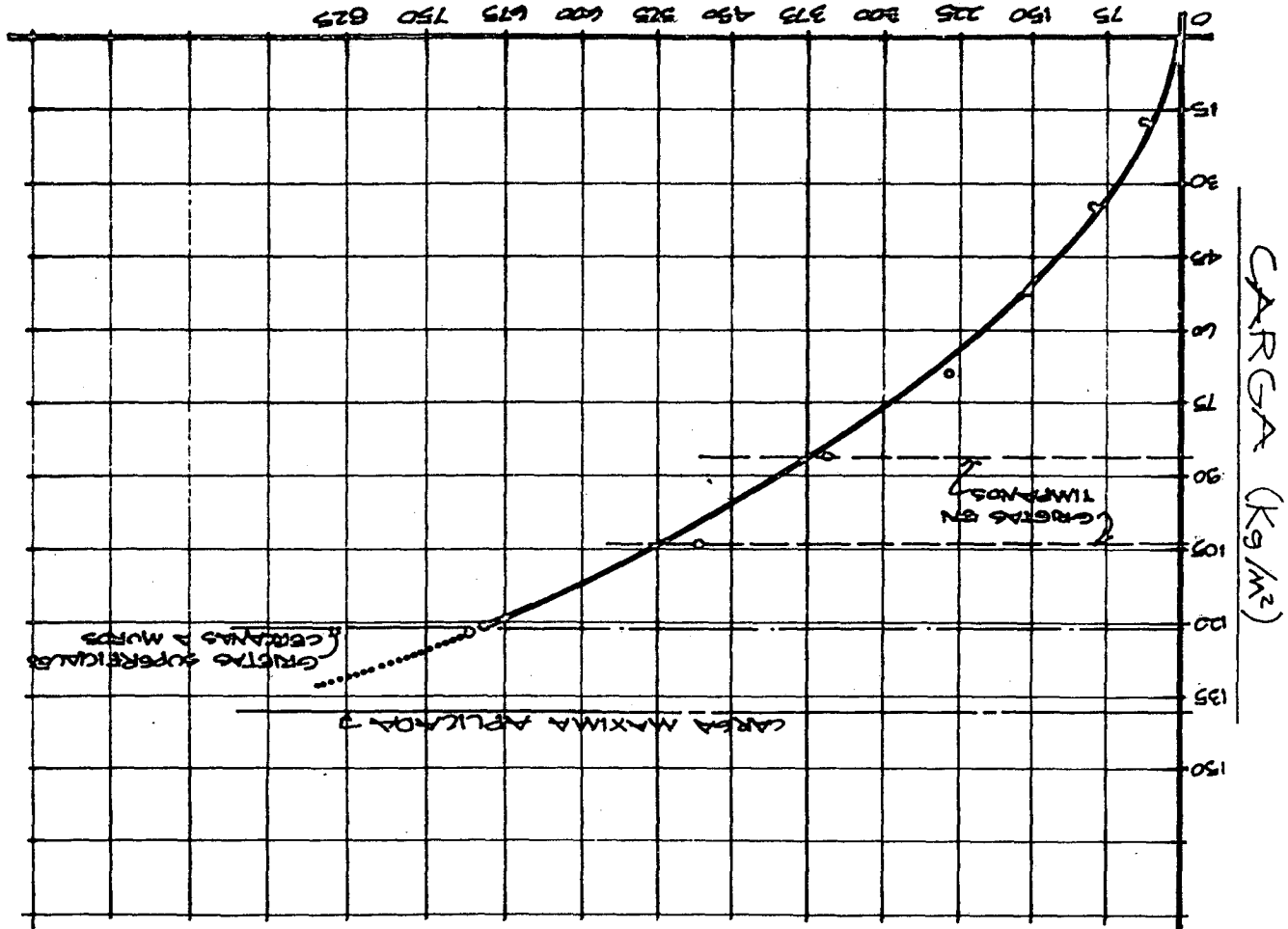
LONGITUD: 5.00 M.

TIPO DE MEZCLA: CONCRETO LIVIANO DE POMEZ.

SISTEMA CONSTRUCTIVO: CON FORMALETA DE MADERA CONTRACHA-READA.

SIMBOLOGIA:

CARGA.



DEFLACIONES ($\text{mm} \times 10^{-2}$)

MEDIDAS AL CENTRO DE LA BOVEDA

GRANJA N. 1

PRUEBA DE CARGA No. 1

BOVEDA No. 2

Fecha de ensayo 24 de ¹¹ju~~l~~io de 1981

CARACTERISTICAS:

- Luz libre entre apoyos 3.00 metros
- Longitud de bóveda 5.00 metros
- Tipo de mezcla utilizada Mortero de arena de río
- Dirección de la malla. Entorchado en el sentido longitudinal de los muros.
- La cantidad de malla hexagonal de 1/2" 1 capa en la zona de momento positivo (centro de la bóveda).
2 capas en la zona de momento negativo (cerca de los muros).

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
17.33	25.5	65.5	10.35	5	2
34.67	44.5	101.5	24	6	4
52.00	75	133	33	8	5
69.33	85	173	51	9	15
86.67	103	217	76	10	23
104.00	153	270	100	11	32
121.33	168	316	167	12	45
138.67	205	362	203	13	55
156.00	240	420	295	14	68
173.33	268	468	316	15	75

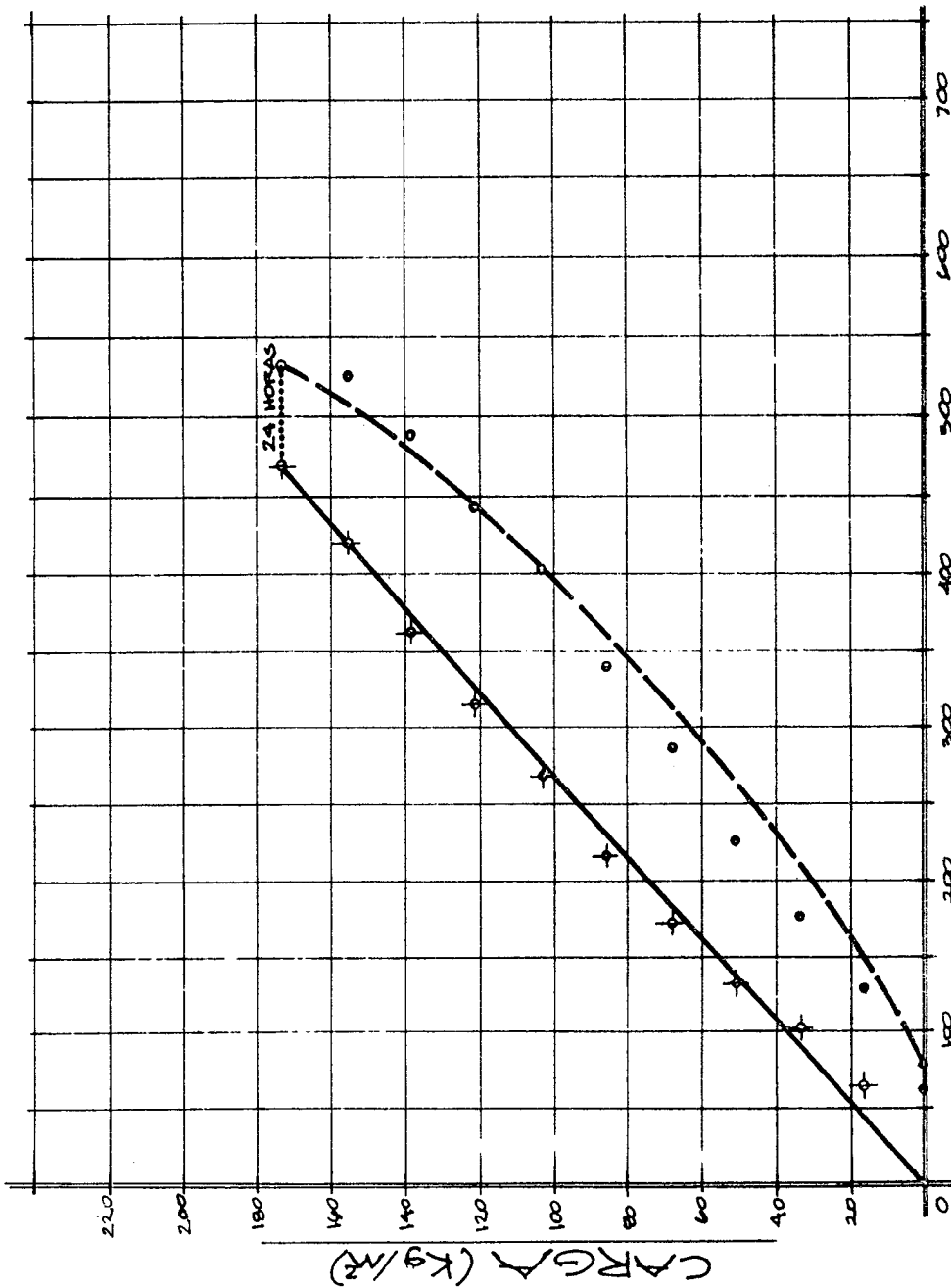
TABLA No. "3"

RECUPERACION DE BOVEDA No. 2

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
173.33	408	530	370	18	18
156.00	350	525	360	15.5	18
138.67	339	488	339	15	18
121.33	309.2	444.5	312	12.1	18
104.00	291.1	403.6	266.5	12	18
84.67	244.5	340.1	242.5	11.2	18
69.33	210	286.8	209	11	18
52.00	178	227	166.5	11	18
34.67	140	178	149	10.5	18
17.33	105.5	129	127	10	18
0	66	79	92	8	18
*0	22	63	43	2	3

*Lectura 24 horas después.

NOTA: La bóveda soportó perfectamente la carga indicada; sin presentar grieta alguna, por lo que se ensayó nuevamente.



DEFLEXIONES (mm x 10²)
 MEDIDAS AL CENTRO DE LA BOVEDA

BOVEDA No. 2

CONTRAFLECHA:
 0.15 M.

LUZ ENTRE APOYOS:
 3.00 M.

LONGITUD:
 5.00 M.

TIPO DE MEZCLA:
 MORTERO DE ARENA
 DE RIO.

SISTEMA CONSTRUCTIVO:
 CON FORMALETA DE
 MADERA CONTRACHA-
 PANDA.

1a. PRUEBA

SIMBOLOGIA:

CARGA: ---

DESCARGA: - - - - -

TABLA No. "4"

PRUEBA DE CARGA No. 2BOVEDA No. 2

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
17.33	39	28	25	3.5	13
34.67	62	62	54	6	20
52.00	99	101	66	8	30
69.33	120	142	100	11	39
86.67	127	154	115	12	45
104.00	197	240	164	16	63
121.33	229.5	291	213.5	19	76
138.67	268	365	245	25	91
156.00	308	407	265	26.5	101
173.33	375	476	298	30	120
190.67*	473	561	322	33	130
208.00**	493	567	345	33	158

* Grietas en la parte superior de la bóveda a 0.50 metros del rostro exterior del muro.

** A 24 horas, presentó grietas interiores al centro y exteriores, más marcadas.

BOVEDA N.º 2

CONTRAFLECHA: 0.15 M.

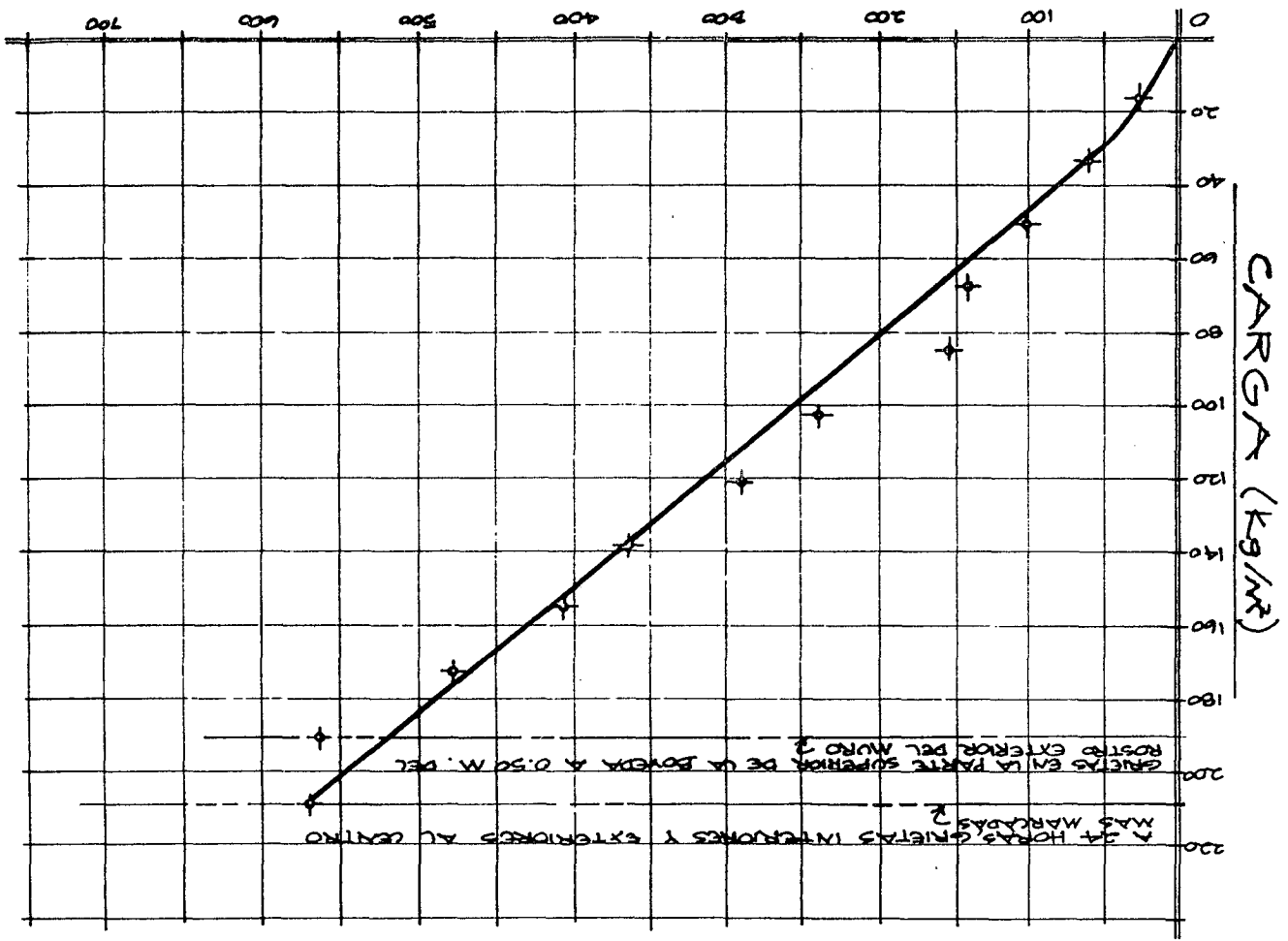
LUZ ENTRE APOYOS: 3.00 M.

LONGITUD: 5.00 M.

TIPO DE MEZCLA: MORTERO DE ARENA DE RÍO.

SISTEMA CONSTRUCTIVO: CON FORMALETA DE MADERA CONTRACHAFADA.

2ª PRUEBA SIMBOLICA: CARGA: DESCARGANDO SE HIZO



DEFLACIONES (mm x 10⁻²)
 MEDIDAS AL CENTRO DE LA BOVEDA

GRAFICA N.º 3

TABLA No. "5"

BOVEDA No. 3

Fecha de ensayo 18 de septiembre de 1981

CARACTERISTICAS:

Luz libre entre apoyos 3.00 metros

Longitud de Bóveda 5.00 metros

Tipo de mezcla utilizada Mortero de arena de río

Dirección de la malla. Entorchado en el sentido de la curvatura de la bóveda.

La cantidad de malla hexagonal de 1/2". 2 capas en toda la superficie de la bóveda.

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
17.33	10	27	4	4	5
34.67	20	55	18	4	8
52.00	36	90	35	4	12
69.33	40	150	55	10	20
86.67	60	199	80	12	25
104.00	80	234	110	22	30
121.33	97	265	124	28	35
138.67	116	300	145	29	45
156.00	130	350	173	30	50
173.33	131	398	221	48	57
190.67	150	483	288	65	78
208.00	186	580	360	112	135
225.33*	240	680	400	120	150
242.67**	270	690	485	161	190

* Grietas tímpanos

** Grietas a 0.40 mts. de la superficie exterior, muros y grietas en los tímpanos de bóveda.

TABLA No. "6"

RECUPERACION DE BOVEDA No. 3

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
242.67	---	785	551	218.5	190
225.33	---	745	515	208	180
208.00	---	694	494	163	170
190.67	---	628	464	151	161
173.33	---	564	422	142	148
156.00	---	515	391	132	138
138.67	---	454	347	120	128
121.33	---	407	320	110	118
104.00	---	352	292	94	107
86.67	---	310	274	85	99
69.33	---	252	239	71	91
52.00	---	186	201	62	78
34.67	---	129	173	49	62
17.33	---	92	132	42	55
0	---	27	94	29	42

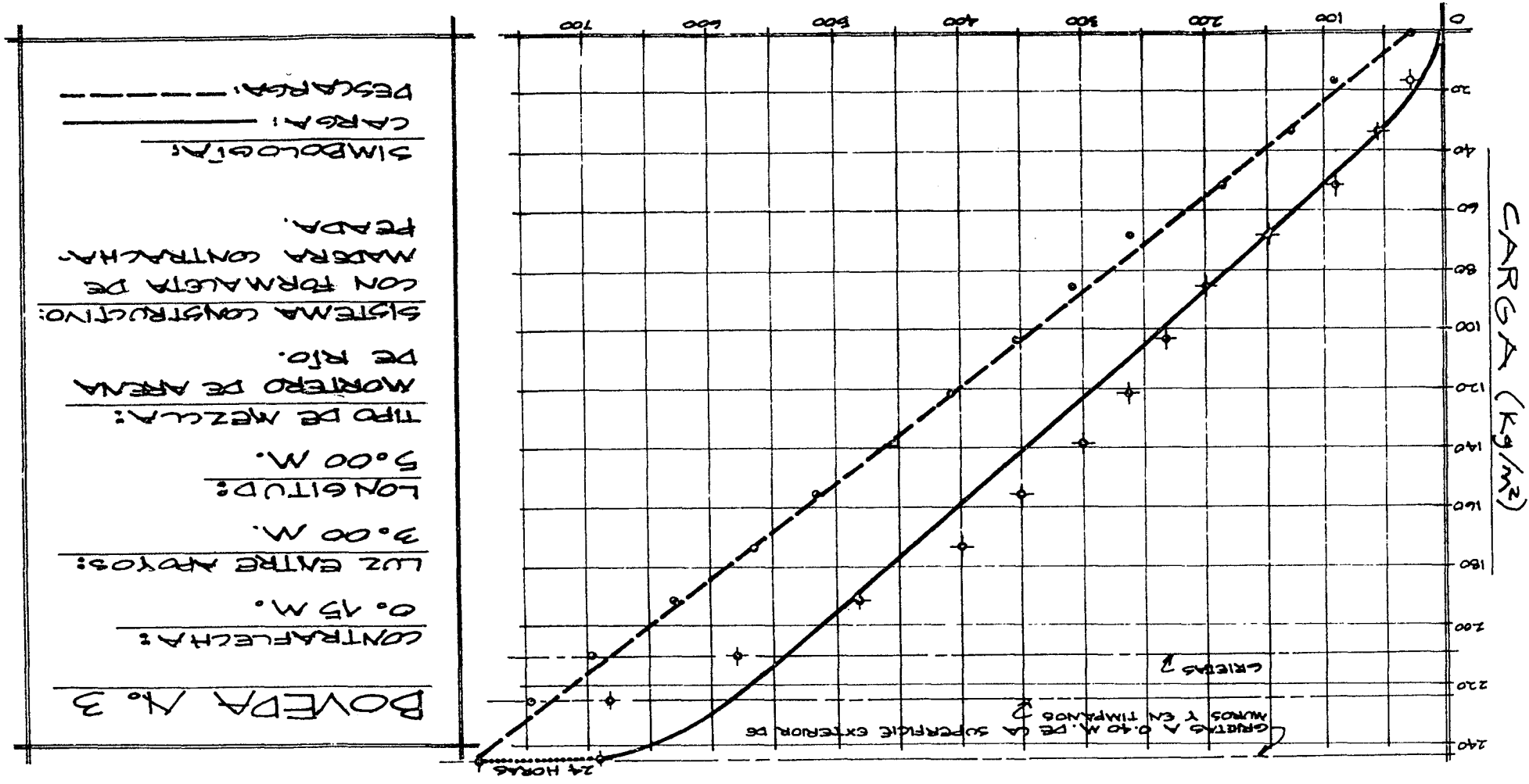


TABLA No. "7"BOVEDA No. 4

Fecha de ensayo 21 de octubre de 1981

CARACTERISTICAS:

Luz libre entre apoyos 3.00 metros

Longitud de bóveda 5.00 metros

Tipo de mezcla utilizada Concreto liviano de pómez

Dirección de la malla. Entorchado en el sentido de la curvatura de la bóveda.

La cantidad de malla hexagonal de 1/2". 2 capas en toda la superficie de la cubierta.

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
17.33	20	10	22	4	0
34.67	38	55	41	5	1
52.00	75	112	79	8	3
69.33	96	172	101	12	6
86.67	136	189	142	20	8
104.00	160	260	192	26	18
121.33	235	312	250	31	* 18
138.67	312	386	345	33	* 22
156.00	398	435	370	40	* 31
173.33	427	530	440	90	** 74
190.67	464	554	442	110	***124

* Grietas exteriores losa a 0.40 metros del rostro muro.

** Grietas en tímpanos bóveda

*** Grietas exteriores e interiores de la bóveda al centro y a 0.40 metros del rostro de los muros.

TABLA No. "8"

RECUPERACION DE BOVEDA No. 4

CARGA Kg/m ²	DEFLEXIONES EN mm x 10 ⁻²				
	1	2	3	4	5
190.67	555	555	606	150	142
173.33	540	510	597	147	152
156.00	510	449	561	141	147
138.67	458	445	495	135	134
121.33	426	370	453	127	125
104.00	383	360	406	117	112
86.67	330	347	335	108	101
69.33	275	255	290	95	90
52.00	228	229	286	86	82
34.67	196	189	168	83	76
17.33	150	162	123	64	63
0	76	100	67	56	42

BOVEDA N. 4

CONTRAFLECHA: 0.15 M.

LIZ ENTRE ARBOS: 3.00 M.

LONGITUD: 5.00 M.

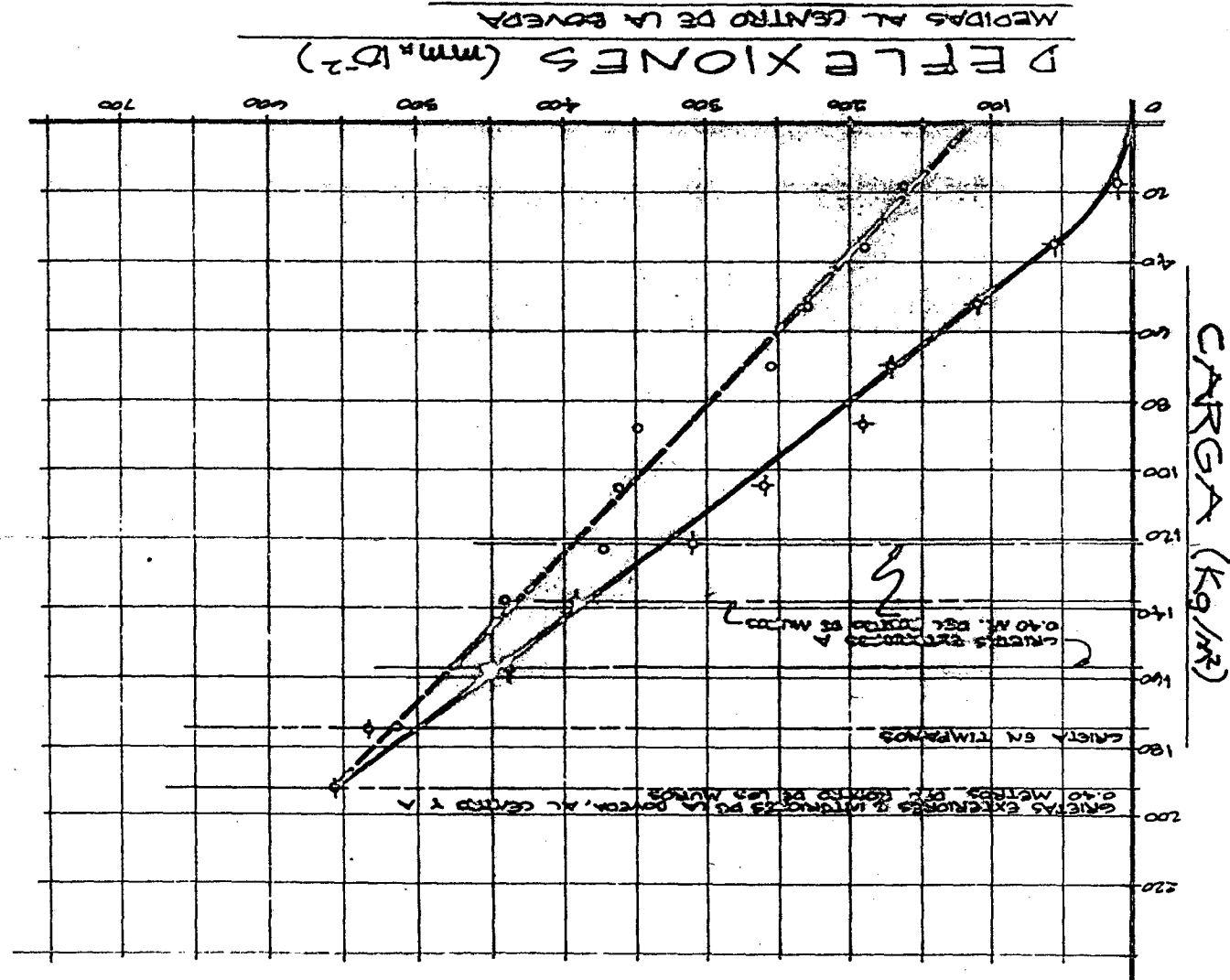
TIPO DE MEZCLA: CONCRETO LIVIANO DE POMEZ.

SISTEMA CONSTRUCTIVO: MADERA CONTRALUZ CON FORMALETA DE PIEDRA.

SIMBOLOGIA:

CARGA: _____

DEFORMACION: _____

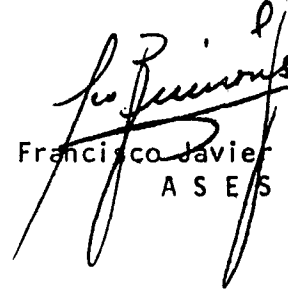


Hernández Hill

Guillermo Iván Hernández Hill



Ing. Jorge Mario Morales González
A S E S O R




Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
A S E S O R

Vo. Bo.



Ing. Emilio Beltranena Matheu
DIRECTOR DE C.I.I.



Ing. Leonel Pinot Leiva
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

I M P R I M A S E :



Ing. Cesar Augusto Fernández F.
D E C A N O