

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ENSAYOS A FLEXIÓN DE LOSAS DE
CONCRETO CELULAR**

TESIS

**Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería**

POR

MARÍA MERCEDES GUZMÁN VALDÉZ

Al conferírsele el título de

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1999



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:

ENSAYOS A FLEXIÓN DE LOSAS DE CONCRETO CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela
de Ingeniería Civil, con fecha 19 de mayo de 1,999.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "María Mercedes Guzmán Valdez".

María Mercedes Guzmán Valdez



Guatemala, 2 de Agosto de 1,999.

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz,
Coordinador del Area de Materiales
Facultad de Ingeniería
Presente.

Ing. Quiñónez.

Por medio de la presente informo a usted que he revisado el trabajo de tesis titulado ENSAYOS A FLEXION DE LOSAS DE CONCRETO CELULAR, el cual fue presentado por la estudiante **María Mercedes Guzmán Valdez**, quien contó con la asesoría del suscrito.

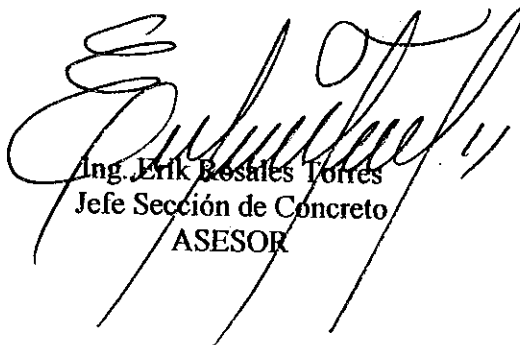
Los resultados obtenidos por la estudiante son de interés para toda persona que está interesada en adoptar el uso de nuevos materiales que están siendo introducidos a nuestro medio, como lo es el concreto celular y desea saber cuál es su comportamiento mecánico, como método constructivo.

Por lo anterior me permito recomendar su aprobación, considerándome corresponsable del contenido.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.



Ing. Erik Rosales Torres
Jefe Sección de Concreto
ASESOR

c.c.: Archivo.



Guatemala, 29 de septiembre 1,999.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

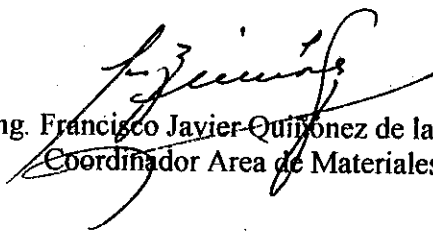
Señor Director.

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis ENSAYOS A FLEXION DE LOSAS DE CONCRETO CELULAR, realizada por el estudiante universitario **María Mercedes Guzmán Valdez**, quien contó con la asesoría del Ing. Erik Rosales Torres.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado y contiene valiosa información de carácter experimental, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Area de Materiales

c.c.: Archivo.





FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Erick Rosales Torres y del Coordinador del Área de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz, del trabajo de tesis de la estudiante María Mercedes Guzmán Valdez, titulado ENSAYOS A FLEXION DE LOSAS DE CONCRETO CELULAR, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, octubre de 1,999

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis ENSAYOS A FLEXION DE LOSAS DE CONCRETO CELULAR, de la estudiante María Mercedes Guzmán Valdez, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios



Guatemala, octubre de 1,999

MIS AGRADECIMIENTOS A:

Nuestro Padre Celestial, por todas sus bendiciones, gracias, Eterno.

Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mis Asesores:

Ing. Erik Rosales Torres

Ing. Juan Miguel Rubio Romero

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Por su valiosa asesoría.

El cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería:

En especial al Ing. Calixto Monteagudo.

Personal Técnico del Área de Prefabricados y la Sección de Concreto.

Especialmente a los señores:

Paulino Alvarado Gómeros

Antonio Cano

Elías Maldonado Robles

El Señor Richard Jacobs y la Empresa Construshop, S.A.

Por su apoyo, sin el cual no hubiera sido posible la realización del presente trabajo.

Mis compañeros de Estudio

ACTO QUE DEDICO A:

Mis queridos y recordados padres:

Antonio Guzmán

**Angelica de Guzmán, como un cumplimiento de nuestros
sueños y anhelos juntas. ¡A su memoria Madre!**

**Mis familiares, hermanos, sobrinos y cuñados. A Ondina, por su
incondicional apoyo.**

Mi esposo: Edwin Ramírez, por toda su ayuda, fortaleza y paciencia.

**Mis hijos: Edwin Daniel, por su apoyo en la realización de esta tesis,
y a los que vendrán.**

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	i
LISTA DE SÍMBOLOS	ii
GLOSARIO	iii
INTRODUCCIÓN	iv
OBJETIVOS	v
HIPÓTESIS	vi
1. RESEÑA HISTÓRICA	1
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	
2.1 Descripción de los materiales del sistema	2
2.2 Descripción del sistema en la construcción de losas <i>De concreto celular</i>	4
3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA	8
4. ENSAYO A FLEXIÓN	
4.1 Aplicaciones de los ensayos a flexión - Generalidades	9
4.2 Criterios utilizados para evaluar la resistencia de losas de concreto celular ensayadas a flexión	9
4.3 Criterios utilizados para evaluar la deflexión máxima de las losas de concreto celular ensayadas	10
4.4 Descripción de la prueba	11
4.5 Cálculo de cargas de prueba	11
4.6 Cálculo de deflexión máxima	13
5. REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES ARMADOS A FLEXIÓN	
5.1 Cálculo del refuerzo de los elementos estructurales	14
5.2 Cálculo del momento de diseño para una losa simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida	16
	Página
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Presentación de pruebas de carga y descarga y porcentajes de recuperación	17

CONCLUSIONES

vii

RECOMENDACIONES

viii

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ix

BIBLIOGRAFÍA

x

APÉNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Página
1	Sección A-A de losa de concreto celular	5
2	Planta de losa de concreto celular	5
3	Ejemplo de obtención de porcentaje de recuperación	13
4	Colocación de acero en una losa convencional	15
5	Diagrama de cargas	16
6	Diagrama de momentos	16

CUADROS

No.	Título	Página
I	Dimensiones de los elementos a ensayar según fabricante	4
II	Materiales usados en losas 1 y 3 según el fabricante	6
III	Materiales usados en losas 2 y 4 según el fabricante	6
IV	Datos de carga de losa 1	17
V	Datos de descarga de losa 1	18
VI	Datos de carga de losa 2	18
VII	Datos de descarga de losa 2	19
VIII	Datos de carga de losa 3	19
IX	Datos de descarga de losa 3	20
X	Datos de carga de losa 4	20
XI	Datos de descarga de losa 4	21

LISTA DE SÍMBOLOS

g	=	gramos
%	=	porcentaje
kg	=	kilogramos
mm	=	milímetros
j	=	joule
mm²	=	milímetros cuadrados
cm²	=	centímetros cuadrados
°C	=	grados centígrados
ρ_{max}	=	porcentaje máximo de acero
psi	=	libras fuerza/pulgada cuadrada
pa	=	pascal (kilogramo/metro cuadrado)
ρ_b	=	porcentaje balanceado de acero
m²	=	metros cuadrados
ΣF_y	=	sumatoria de fuerzas verticales
ΣM_n	=	sumatoria de momentos en un punto n
/	=	división
m³	=	metro cúbico
lb	=	libras masa

GLOSARIO

- Aditivos:** Son otros materiales que además del agua, agregado o cemento, se utilizan como ingredientes del concreto y se adicionan a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado. Su función es la de modificar las propiedades del concreto para hacerlo más apropiado según el trabajo a realizar.
- Concreto liviano o ligero estructural:** Se define como un concreto que tiene una resistencia a la compresión a los 28 días mayor de 2,000 psi (13.79×10^6 Pa) y un peso unitario seco de 115 lb/pie³ (1,863 kg/m³).
- Deflexión:** Es el desplazamiento de un punto en la superficie neutra bajo la acción de las cargas aplicadas. Es una medida de la rigidez de la fuerza y una función de la rigidez del material y de la forma y proporciones de la fuerza.
- Módulo de elasticidad:** Es la relación entre el esfuerzo y la deformación y es una medida de la rigidez del material. Donde el esfuerzo es la relación de la fuerza sobre el área aplicada y la deformación es la relación de la deformación sobre la longitud en la que se ha producido.
- La Flexión:** Al actuar fuerzas sobre una pieza de material en forma tal que indican compresión en una parte de la sección transversal y tensión en la restante.
- Losas de piso:** Son los principales elementos horizontales que transmiten las cargas vivas de movimiento, así como las cargas muertas estacionarias a los apoyos verticales de los marcos de una estructura.
- Prueba de bola:** Tipo de ensayo de impacto, que consiste en dejar caer un peso conocido sobre el espécimen desde alturas sucesivas progresivas, hasta producir la falla.
- Resistencia a la compresión del concreto:** Propiedad mecánica del concreto endurecido, que depende del tipo de mezcla, agregado, tiempo y calidad de curado.

INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo en algunos países de Europa se han utilizado elementos prefabricados de concreto celular (concreto liviano con una mezcla de fibras de vidrio resistentes a los álcalis del cemento). En Alemania específicamente se han hecho ensayos y pruebas para comprobar la efectividad de dicho sistema (6).

Estos elementos pueden ser losas, muros, fachadas, cielos falsos, tejas, U, tubos, algunos de ellos ya utilizados en la construcción en Guatemala. Sin embargo, constituye un sistema relativamente nuevo, considerando que no se ha hecho ningún estudio, hasta ahora, del comportamiento de estos elementos prefabricados de concreto celular. Por lo que se presentó al fabricante la propuesta de ensayo de un sistema en particular. Se ensayaron losas de entrepiso de tipo residencial. Se usaron 4 losas prefabricadas de concreto celular con variación en la proporción del contenido de fibras, y con las dimensiones según criterio de fabricación.

Por lo tanto con el desarrollo de este trabajo se pretende brindar información sobre el comportamiento de las losas prefabricadas de concreto celular al ser sometidas a ensayos de flexión.

OBJETIVOS

1. Comprobar la resistencia de las losas de concreto celular al ser sometidas a cargas de flexión
2. Proporcionar a todo profesional y estudiante de ingeniería o arquitectura información básica sobre el sistema de losas prefabricadas de concreto celular.

HIPÓTESIS

Las losas de concreto celular son estructuralmente resistentes a las cargas de flexión.

CAPÍTULO I

RESEÑA HISTÓRICA

La producción industrial de los llamados CONCRETOS LIVIANOS comenzó poco después de la segunda guerra mundial y se requería de grandes instalaciones, con alto costo en todo sentido, para obtener la consistencia deseada de los componentes de tales concretos (6).

El uso de los concretos livianos fue para los países con alto nivel tecnológico, cuya industria se ha desarrollado grandemente, tal como en Europa, Norte América y otros países de Asia; pero, hay diferencia de la época de su inicio: su costo operativo se ha disminuido, por haberse desarrollado tecnología moderna que permite tener uniformidad en su producción con un equipo más pequeño y un proceso menos complicado.

Gracias a esos avances tecnológicos y a la globalización comercial que actualmente se está dando, un empresario de origen alemán ha introducido este sistema en el mercado de la construcción guatemalteca, ofreciendo una alternativa diferente a los sistemas ya conocidos.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 Descripción de los materiales del sistema

El peso ligero en los concretos livianos, se debe a la introducción de aire en su sistema. Uno de los métodos más antiguos consiste en obtener e introducir el aire por medio de una reacción química y se conoce como "aerated concrete", y su producción requiere de instalaciones industriales grandes. Como desventajas están: su alto costo energético, necesario para moler finamente los agregados que permiten obtener la reacción química, además siempre es necesario fraguar en un autoclave de vapor, aumentando los costos de producción.

En Alemania se desarrolló una tecnología que introduce el aire al sistema a través de espumantes, los que forman burbujas de aire bien definidas en la mezcla de concreto, fraguando bajo las mismas condiciones que cualquier concreto pesado y a este sistema se le conoce como "celular concrete" o CONCRETO CELULAR.

En la producción del concreto celular existen dos factores muy importantes:

- el tipo de espumantes
- el equipo para producir la espuma y luego la mezcla con el concreto.

En el mercado existe una gran variedad de espumantes basados en proteínas o sintéticos. La elección de este material depende del peso que se le quiera dar al concreto celular. Los espumantes (tales como las fibras alcaliresistentes) no son tóxicos, ni corrosivos al acero de refuerzo, pero no todos se pueden utilizar debido al medio alcalino del concreto. Además que, el tamaño y la uniformidad de las burbujas influyen grandemente en la calidad del concreto: a menor diámetro, mejor calidad.

Dentro de las características de las FIBRAS ALCALIRERESISTENTES (Espumante) están: la resistencia al impacto y a la flexión, ya que en una simple prueba de bola (caída) se observa el aumento de la resistencia del concreto curado de 28 días; la flexión aumenta según se incrementan las tasas de este tipo de fibras; y finalmente, tienen la misma densidad que el concreto por lo que no afloran en la superficie (7).

Las fibras alcaliresistentes son utilizadas con niveles de contenido que van del 0.1 al 5% según la necesidad del concreto a utilizar:

- A los niveles más bajos de adición, las fibras sirven para evitar la aparición de grietas y reducir la exudación.
- A niveles de adición entre el 1% y el 2%, las fibras son ideales para capas de lucido reforzadas y otros productos de baja resistencia.
- A niveles de contenido entre el 2% y el 3.5% las fibras se incluyen normalmente en la producción de productos moldeados por vibración de bajo coste.
- A niveles de contenido entre el 3.5% y 5%, las fibras se utilizan para aplicaciones de componentes de mayor grado de resistencia (3).

A grandes rasgos el concreto celular se puede dividir en tres grupos:

1. Mezclas de cemento puro con espuma, produciendo morteros muy livianos de 300 kg/m^3 hasta 600 kg/m^3 .
2. Mezclas con agregados finos de menos de 2mm, que van de 600 kg/m^3 a 800 kg/m^3 .
3. Concreto celular con agregado grueso, arriba de 800 kg/m^3 .

Con respecto al equipo para producir la espuma y luego mezclarla con el concreto, hasta hace poco no eran muy confiables con respecto a la uniformidad de la espuma elaborada. Esto se solucionó con tecnología moderna desarrollada en Alemania, la cual ha permitido una producción uniforme y reproducible de espuma y concreto celular, y además, producción de concreto celular en cualquier lugar, incluyendo en el mismo sitio de la obra, mediante el uso de equipo móvil.

2.2 Descripción del sistema en la construcción de losas de concreto celular

Las losas de concreto celular están hechas de una plancha prefabricada de concreto liviano mezclado con fibras de vidrio resistentes a los álcalis del cemento, para luego ser completada en obra con concreto normal y alcanzar de esta manera un espesor final determinado por el fabricante (10 centímetros). Previo a esto es necesaria la colocación de acero por temperatura y la colocación de formaleta que únicamente sostiene el concreto fundido en obra (ver Apéndice, fotografía No.2).

Las losas de concreto celular llevan incluido una viga de alma abierta (joist), de peralte bajo (un joist tipo Monolit apachado), con la geometría necesaria solamente para su manipuleo y adherencia de la capa que se funde en obra. Además tienen una electromalla sobre la superficie inferior que determina el fabricante, tanto en su altura como en el tipo de electromalla (ver figura 1).

Cuadro I. Dimensiones de los elementos a ensayar según fabricante

	Largo (mts)	Ancho (mts)	Espesor (cm)	Espesor final (cm)
1	3.20	0.5	3	10
2	3.20	0.5	5	10
3	3.20	0.5	3	10
4	3.20	0.5	5	10

* Ver figura 2.

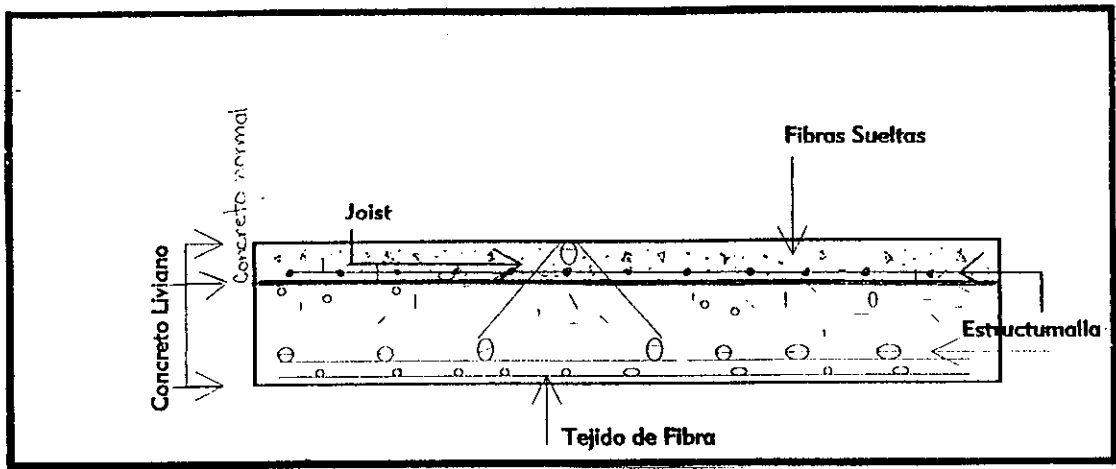


Fig. 1 Sección A-A de Losa de Concreto Celular

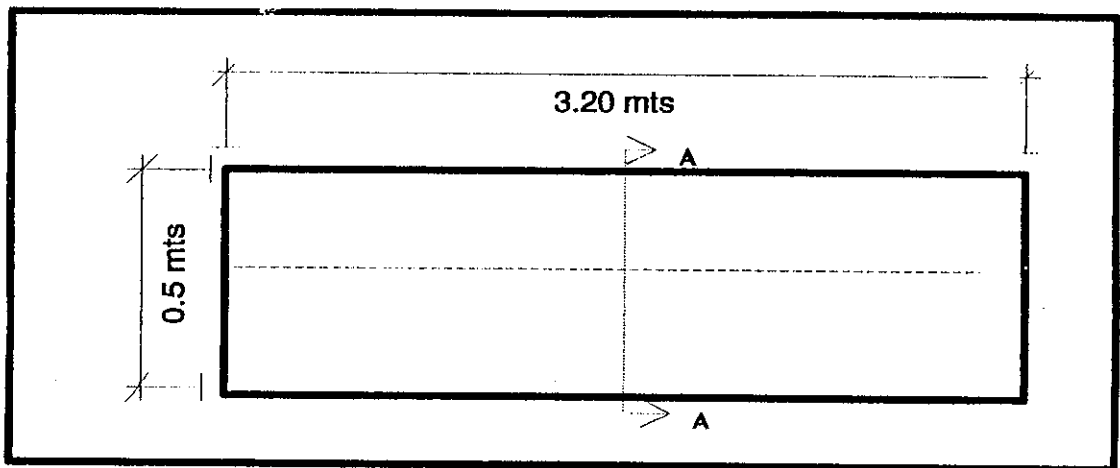


Fig.2 Planta de losa de concreto celular.

Cuadro II. Materiales usados en losas 1 y 3 según el fabricante

Cantidad	Descripción del material
0.083 m ³	Arena Cernida
42.5 kg	Cemento de 4000 psi (2758x10 ⁴ Pa)
1	Electromalla de 6x6-7/7 SWG
1	Armalit S-1 grado 60
500 gr	Fibra suelta
1	Malla de fibra
	Agua y aditivo

- Las separaciones en la malla de fibra son de 12 a 13mm en ambas direcciones horizontales y colocadas a 4 ó 5mm de la superficie inferior de la plancha.
- La electromalla está sobre la superficie inferior de la plancha de 8 a 10mm.

Cuadro III. Materiales usados en losas 2 y 4 según el fabricante

Cantidad	Descripción del material
0.083 m ³	Pómez de ¼" de pulgada
42.5 kg	Cemento de 4000 psi (2758x10 ⁴ Pa)
1	Electromalla de 6x6-7/7 SWG
500 gr	Fibra suelta
1	Armalit S-1 grado 60
	Agua y aditivo

- La electromalla está sobre la superficie inferior de la plancha de 15 a 20mm.

Se usaron los siguientes materiales para la elaboración del concreto normal y su fundición en obra:

- Cemento de 4,000 psi (2758×10^4 Pa)
- Arena de río
- Piedrín
- Agua
- Madera para formaleta
- Clavos

La proporción del concreto fué uno de cemento por dos de arena y dos de piedrín, según lo indicado por el fabricante.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA

Dentro de las ventajas de este sistema están las siguientes:

- Peso liviano, el que oscila entre 500 kg/m^3 y 2000 kg/m^3 , permitiendo facilidad de transporte y rapidez en la manipulación de los elementos, lo que reduce costos de montaje y transporte.
- Concreto impermeable.
- Facilidad para reproducir finos detalles superficiales en diferentes colores.
- Amplia durabilidad, ya que por la naturaleza inorgánica de las fibras no hay problemas de hongos y su mantenimiento es mínimo.
- Excelentes propiedades frente al fuego, pues las fibras que podrían ser el problema son resistentes sin daño alguno hasta $800 \text{ }^\circ\text{C}$ y a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ depende del tiempo de exposición al fuego.
- La flexibilidad del diseño permite alejarse de las enormes limitaciones de peso y forma del concreto armado.
- *Todo tipo de acabados de concreto, como concreto lavado, martelineado, etc.*
- En cuanto a las fibras, éstas tienen un módulo de elasticidad alto por lo que actúan como un refuerzo útil; no se oxidan, entonces no exigen ninguna cubierta mínima, permitiendo fabricar elementos muy delgados; son resistentes a los agentes químicos y no constituyen un peligro para la salud.
- Por el peso liviano el concreto celular tiene una conductividad térmica muy baja.
- Su rango a la compresión es muy amplio porque usa mucho cemento.

Las desventajas del sistema son:

- Tiene más contracción por fraguado que el concreto normal.
- *EL módulo de elasticidad del concreto celular es de 5000 jul/mm^2 y 7000 jul/mm^2 , mientras que el normal es de $20,000 \text{ jul/mm}^2$ y $25,000 \text{ jul/mm}^2$ y esto provoca grietas.*
- Actualmente no hay modelos de cálculo, ni fórmulas y se basa en pruebas.
- No se ha usado en América Latina.
- En Guatemala no se han realizado estudios sobre este sistema, siendo el presente trabajo el primero de ellos.

ENSAYO A FLEXIÓN

4.1 Aplicaciones de los ensayos a flexión – Generalidades

Los elementos estructurales deberán ser lo suficientemente rígidos para que no ocurran deflexiones más allá de cierto límite, por razones de estética o apariencia y principalmente por seguridad.

Los ensayos a flexión se hacen para evaluar la resistencia del elemento al aplicársele carga a flexión y la deflexión que alcanza con dicha carga. En otras palabras se evalúa la capacidad de absorción de energía del elemento ensayado y la rigidez del mismo.

4.2 Criterios utilizados para evaluar la resistencia de losas de concreto celular ensayadas a flexión

Se hizo sobre la base del capítulo 20 del reglamento ACI 318-77 (American Concrete Institute), el cual indica hacerlo por medio de pruebas de carga, que consisten en lo siguiente: se debe establecer una carga total que se obtiene por medio de la integración de las cargas que actúan en el elemento a ensayar, las cuales se describen a continuación.

Carga viva:

Es una carga ocasional que varía dependiendo del uso que se le dará a la losa y es producido por las personas, el mobiliario, material almacenado, etc. Se identifica como CV.

Por tratarse de una losa de entrepiso, tipo residencial, debiera de usarse una carga de 200 kg/m^2 . Y a manera de ensayo en una de las losas se utilizó 400 kg/m^2 .

Carga muerta:

Es una carga permanente, que depende del peso propio de los materiales a emplear. Se identifica como CM y su valor está dado por el peso de la losa más el peso de acabados, donde el peso de losa está determinado como: el peso específico del concreto por el espesor de la losa más el peso de los acabados, que es un valor de tablas.

El peso específico de las planchas según el fabricante es de $1,200 \text{ kg/m}^3$ y se obtuvo un peso específico del concreto normal de $2,400 \text{ kg/m}^3$. No incluyendo peso de acabados.

Carga última:

Es la carga utilizada para encontrar los momentos de diseño y se identifica como CU y su valor está determinado por: $1.7 \times CV + 1.4 \times CM$.

Una vez obtenida la carga última se procede a obtener los momentos de diseño de la siguiente forma:

Carga total o de prueba = $0.85 (1.4 CM + 1.7 CV) - CM \times \text{Área de losa}$.

Donde,

CM = carga muerta de losa (kg/m^2)

CV = carga viva o de servicio (kg/m^2)

AL = área de losa (m^2)

Cp = carga de prueba (kg)

La carga de prueba debe aplicarse con un mínimo de 4 incrementos aproximadamente iguales, sin impacto sobre la estructura.

Finalmente, se obtiene la carga de prueba por incremento

Carga de prueba por incremento: Cpn (kg)

$$C_{pn} = \frac{C_p}{\text{Número de incrementos}}$$

Ésta depende del número de incrementos que se realicen.

4.3 Criterios utilizados para evaluar la deflexión máxima de las losas de concreto celular ensayadas

Los siguientes criterios deben considerarse como una indicación de comportamiento satisfactorio según el capítulo 20 del ACI 318-77 (American Concrete Institute).

Si la flexión máxima medida de un entrepiso excede de $lt^2/20,000 n$, donde:

lt^2 = distancia comprendida entre el centro de los apoyos

n = espesor del miembro

entonces, la recuperación a la flexión dentro de las 24 horas siguientes después de retirar la carga de prueba debe ser por lo menos el 75% de la deflexión máxima.

4.4 Descripción de la prueba

Después de ser fundidas las losas sobre apoyos simples se esperó un mínimo de 21 días y se procedió al ensayo. A manera de ensayo y con la aprobación del fabricante se evaluó a dicho período, considerando que el reglamento indica a los 56 días. Se calculó la carga y se distribuyó en la superficie libre y se colocó en 4 incrementos casi iguales. La lectura de las deformaciones se hicieron al centro de la luz de la losa, dejándose cargada durante 24 horas; se midió su deformación y luego se descargó en 4 decrementos iguales, midiendo cada vez la deformación.

Finalmente, se rompieron para obtener una muestra de su interior y observar la distribución de la fibra suelta y la del tejido. Se tomaron fotografías del proceso las cuales aparecen en el apéndice.

4.5 Cálculo de cargas de prueba

Carga viva

$$\begin{aligned} CV &= CV \\ CV &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ CV &= 400 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Carga muerta

Losa de 3 cms:

$$CM = \text{Peso específico} \times \text{Espesor}$$

- Plancha prefabricada

$$CM = 1,200 \text{ kg/m}^3 \times 0.03\text{m} = 36 \text{ kg/m}^2$$

- Plancha de concreto normal

$$CM = 2,400 \text{ kg/m}^2 \times 0.07\text{m} = 168 \text{ kg/m}^2$$

$$CM_{\text{total}} = 36 \text{ kg/m}^2 + 168 \text{ kg/m}^2 = 204 \text{ kg/m}^2$$

Losa de 5 cms:

- Plancha prefabricada

$$CM = 1,200 \text{ kg/m}^2 \times 0.05\text{m} = 60 \text{ kg/m}^2$$

- Plancha de concreto normal

$$CM = 2,400 \text{ kg/m}^2 \times 0.05\text{m} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$CM_{\text{total}} = 180 \text{ kg/m}^2$$

Carga de prueba

Losa de 3 cms:

$$\text{Carga de prueba} = 0.85(1.4 \times 204 + 1.7 \times 250) - 204 = 400 \text{ kg/m}^2$$

Carga de prueba por incremento

$$C_{pn} = \frac{400}{4} = 100 \text{ kg/m}^2$$

Losa de 5 cms:

$$\text{Carga de prueba} = 0.85(1.4 \times 180 + 1.7 \times 250) - 180 = 395.45 \text{ kg/m}^2$$

Carga de prueba por incremento

$$C_{pn} = \frac{143.72}{4} = 35.93 \text{ kg}$$

Por haberse hecho el ensayo con pesos no exactos se aproximaron los incrementos y en los cuadros de datos de carga aparecen ligeramente variados, también se unificó la carga para ambos espesores de losas, a excepción de la losa 1 que tiene un valor diferente de carga viva por lo que los incrementos son mayores que en el resto de losas.

4.6 Cálculo de deflexión máxima

$$\begin{aligned} \text{deflexión máxima} &= \frac{lt^2}{20,000 n} \\ &= \frac{(300 \text{ cm})^2}{20,000 \times 10 \text{ cm}} = 0.45 \text{ cm} \\ &= 4.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

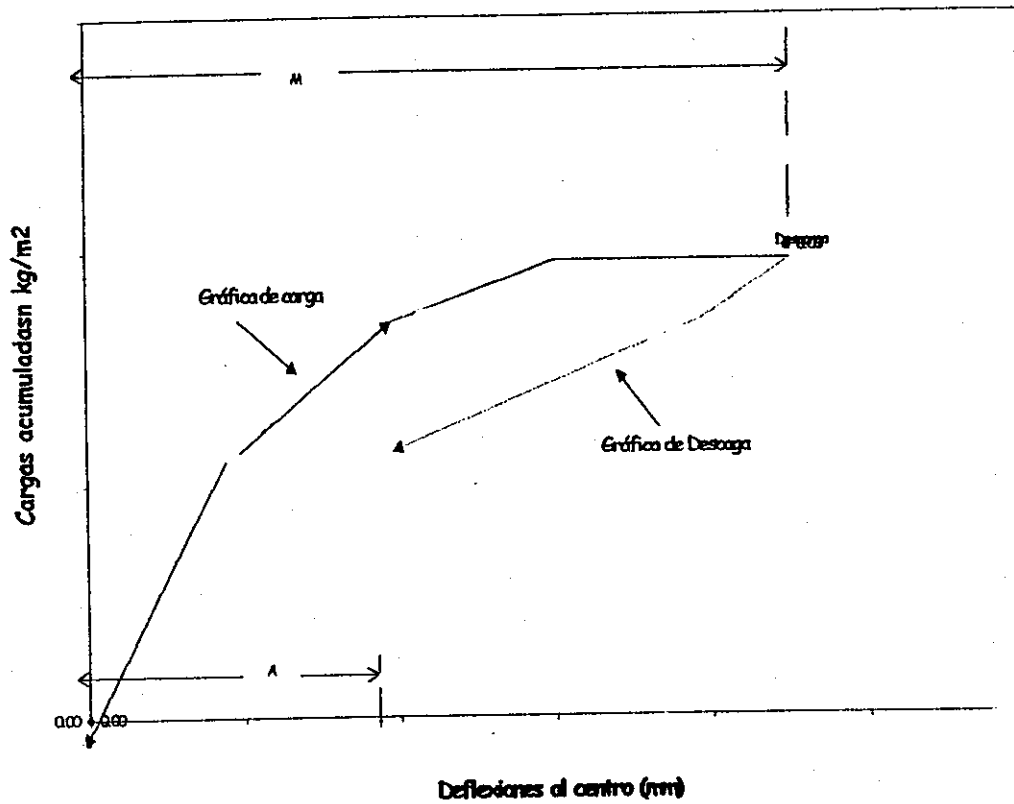


Figura 3 Ejemplo de obtención de porcentaje de recuperación.

El porcentaje de recuperación será:

$$\frac{M - A}{M}$$

REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES ARMADOS A FLEXIÓN

- El porcentaje de acero mínimo que debe colocarse tanto en la zona de tensión superior como en la zona de tensión inferior será de $14.1/f_y$, donde f_y es límite de fluencia del acero o esfuerzo máximo.
- El porcentaje máximo de acero $p_{max} = 0.5 p_b$;

$$p_b = 0.85 \beta \frac{f_c}{f_y} \left(\frac{6000}{f_y + 6000} \right)$$

Y β es un factor que depende de f_c (límite de fluencia del concreto) y oscila entre $0.65 \leq \beta \leq 0.85$

Si $f_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$ $\beta = 0.85$ y se reduce en 0.005 en cada 70 kg/cm^2 sobre los 280 kg/cm^2 .

- El acero negativo se colocará donde los momentos negativos sean máximos.
- El acero positivo se colocará donde los momentos positivos sean máximos (esto es a manera de información, pues las losas son simplemente apoyadas y los momentos negativos son cero) (ver figura No 4)
- El área de acero negativo concentrado se debe prolongar como mínimo a más de:
 - a. 50% del área de acero negativo
 - b. 33% del área de acero positivo (en caso de tener momentos positivos)
 - c. el área de acero mínimo negativo

5.1 Cálculo del refuerzo de los elementos estructurales

Para este cálculo fué necesario conocer las cargas que actuaban, para luego integrarlas y obtener el momento de diseño.

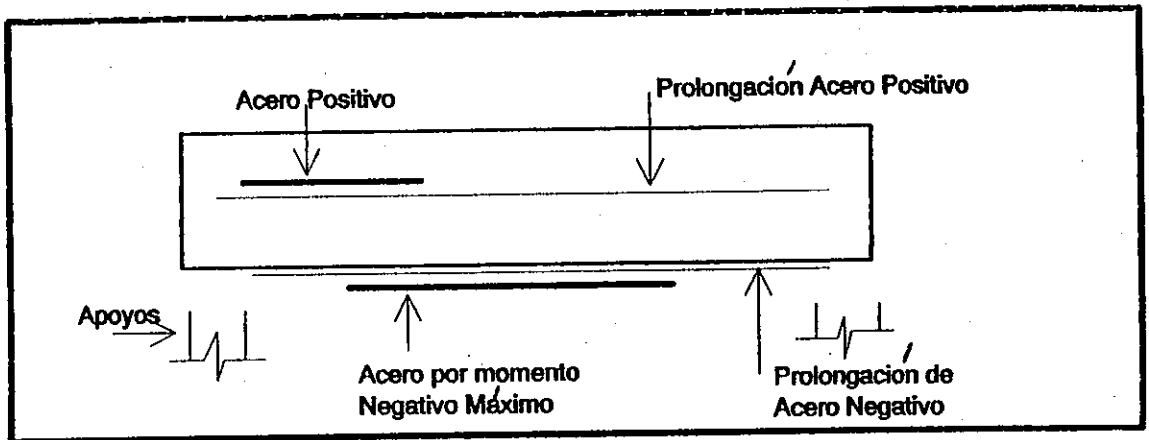


Fig. 4 Colocación de acero en una losa convencional

5.2 Cálculo del Momento de Diseño para una losa simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida

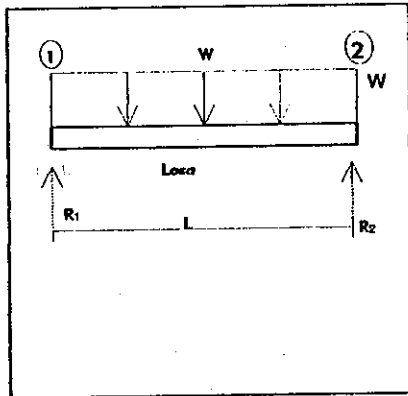


Fig. 5 Diagrama de Cargas

Desde:

R_1 = Reacción lado izquierdo

R_2 = Reacción lado derecho

L = Longitud

W = Carga última uniformemente distribuida

Paso 1.

Sumatoria de fuerzas verticales

$$\sum M_z = 0$$

$$R_1 + R_2 - WL = 0$$

$$R_2 = WL - R_1 \quad \leftarrow \textcircled{A}$$

Paso 2.

Sumatoria de Momentos en $\textcircled{2}$

$$\sum M_z = 0$$

$$R_1 \cdot L - WL/2 = 0$$

$$R_1 = WL/2 \quad \leftarrow \textcircled{B}$$

Paso 3.

Sustituyendo \textcircled{B} en \textcircled{A}

$$R_2 = WL/2$$

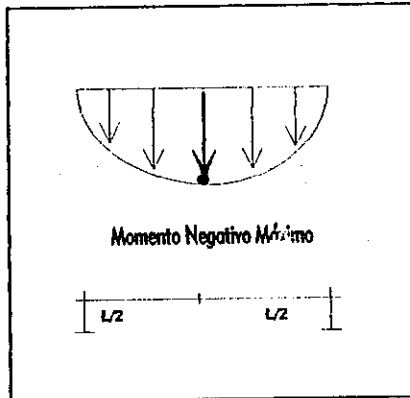


Fig. 6 Diagrama de Momentos

Paso 4:

Sumatoria de momentos en $L/2$

$$\sum M_z = 0$$

$$M_{L/2} = \frac{1}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{WL}{2} = \frac{WL^2}{8}$$

$$\rightarrow \text{Momento Máximo} = \frac{WL^2}{8}$$

Paso 5.

Con el valor del momento se puede obtener el área de acero requerida, mediante fórmulas, programas o tablas.

CAPÍTULO 6

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Presentación de pruebas de carga y descarga y porcentajes de recuperación

A continuación se encuentran las distintas etapas de carga y descarga con sus lecturas tomadas en el ensayo, también se presentan las gráficas correspondientes (ver apéndice) y los porcentajes de recuperación de cada losa ensayada.

Cuadro IV. Datos de carga de la losa 1.

Etapa	Carga (kg/m ²)	Deflexión (mm)
	0	0
1	190.60	6
2	381.30	12
3	572.00	20
4	762.70	30
A las 24 horas		35

CUADRO V

Datos de descarga de losa 1

Etapa	Carga (kg/m ²)	Recuperación (mm)
1	762.70	35
2	572.00	32
3	381.30	26
4	190.60	20
	0.00	14
A las 24 horas		10

CUADRO VI

Datos de carga de losa 2

Etapa	Carga (kg/m ²)	Deflexión (mm)
	0	0
1	133.50	1
2	257.40	4
3	381.30	6
4	505.30	9
A las 24 horas		13

CUADRO VII

Datos de descarga de losa 2

Etapa	Carga (kg/m ²)	Recuperación (mm)
1	505.30	13
2	381.30	11
3	257.40	8
4	133.50	6
	0.00	3
A las 24 horas		2

CUADRO VIII

Datos de carga de losa 3

Etapa	Carga (kg/m ²)	Deflexión (mm)
	0	0
1	133.50	3
2	257.40	6
3	381.30	8
4	505.30	10
A las 24 horas		13

CUADRO IX

Datos de descarga de losa 3

Etapa	Carga (kg/m ²)	Recuperación (mm)
1	505.30	13
2	381.30	10
3	257.40	8
4	133.50	8
	0.00	3
A las 24 horas		3

CUADRO X

Datos de carga de losa 4

Etapa	Carga (kg/m ²)	Deflexión (mm)
	0	0
1	133.50	2
2	257.40	5
3	381.30	8
4	505.30	10
A las 24 horas		14

CUADRO XI

Datos de descarga de losa 4

Etapa	Carga (kg/m ²)	Recuperación (mm)
1	505.30	14
2	381.30	10
3	257.40	8
4	133.50	8
	0.00	0.45
A las 24 horas		0

Porcentajes de recuperación

Losa 1

$$\frac{35 - 10}{35} \times 100 = 71.4 \%$$

Losa 2

$$\frac{13 - 2}{13} \times 100 = 84.6 \%$$

Losa 3

$$\frac{13 - 3}{13} \times 100 = 76.9 \%$$

Losa 1

$$\frac{14 - 0}{14} \times 100 = 100 \%, \text{ aproximadamente.}$$

6.2 Discusión de resultados

Losa 1:

Como se aprecia en la gráfica A-1 (apéndice) la deflexión máxima se alcanzó aún antes de llegar a la primera carga de prueba, lo que demuestra que la carga fue excesiva para el valor de deflexión estimado. Sin embargo, no presentó fisuras en su superficie, dando a conocer la gran capacidad de absorción de energía. Finalmente, debido a ese exceso en su deflexión no tuvo una recuperación dentro del rango estimado del 75%.

Losa 2:

Durante la primera etapa de carga se mantuvo en un valor menor a la deflexión máxima permisible calculada, pues de 1mm, en la segunda etapa tampoco llegó a la deflexión máxima permisible calculada y fue hasta la tercera etapa que sobre pasó el límite. Tuvo una recuperación mayor del 75% y no se agrietó. Su comportamiento fue bueno.

Losa 3:

Según se muestra en la gráfica A-3 (ver apéndice) su deflexión máxima la alcanza con una carga menor que la losa 2, esto indica que es más flexible. Su porcentaje de recuperación fue menor que la losa 2, pero aún así ligeramente mayor del 75%, por lo que se concluye que se comportó dentro de lo admisible. Su conducta menos elástica puede deberse a que tiene más concreto normal que concreto celular.

Losa 4:

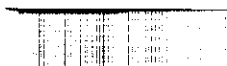
Alcanzó la deflexión máxima casi en la segunda etapa y a diferencia de su gemela, la losa 2, se mostró menos flexible, sin embargo, tuvo una recuperación casi completa, no presentó grietas ni fisuras.

CONCLUSIONES

- 1 Los elementos ensayados no mostraron fisuramiento al sobrepasar el límite máximo de deflexión establecido, por lo que se continuó el ensayo para comprobar la capacidad de absorción de carga y su recuperación elástica, la cual fue aceptable en la mayoría de los elementos, por lo que se concluye que la hipótesis planteada se comprueba, pues las losas de concreto celular se consideran estructuralmente resistentes a las cargas de flexión.
- 2 Ya que se consideraron en todo el análisis como losas de entre piso de tipo residencial y habiéndose estimado una carga viva ligeramente mayor a la establecida, se concluye que son losas aptas para viviendas o edificaciones en general.

RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda utilizar las losas de concreto celular como una alternativa confiable en el mercado de la construcción.
- 1 Por su fácil manipulación e instalación pueden ser usadas en proyectos habitacionales y de construcción rápida.
- 2 No obstante las grandes ventajas enumeradas, de este tipo de losas de concreto celular, se recomienda estudiarlas más al detalle, para deducir la contribución de sus componentes en la zona de tensión.
- 3 Se recomiendan establecer, procedimientos, tablas para cálculo o de deducciones de fórmulas que permitan identificar fácilmente los criterios de uso práctico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Instituto Mexicano del cemento y del concreto. Reglamento de la construcciones de concreto reforzado. México. 1984. 9-21.
- 2 CEM-FIL. News. Madrid, España. Vetrotex España, S.A. 1997. v. 49.
- 3 CEM-FIL. News. Madrid, España. Vetrotex España, S.A. 1994. v. 47.
- 4 José García. 1994. Comparación entre dos losas de vigueta y Bovedilla. Tesis de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. p.p .7-43.
- 5 Richard Jacobs. Guatemala. 1999. Comunicación personal.
- 6 ----- 1998. Concreto Celular. El Salvador, ConstruShop, S.A. p.
- 7 ----- 1998. Anti - Crak Fibr. Madrid, España. Cem- Fil, S. A. p.
- 8 Singer, F.L.; Andrew, P. Resistencia de materiales. México, Harla. 1982. Capítulo 4, p.p. 27-31.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 FERDINAND, Singer y Andrew Pytel. Resistencia de materiales. 3ª edición. Editorial Harla. México. 1982.
- 2 INSTRUCTIVO DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1,992.p.p.22-23.
- 3 NAWY, Edwar. Concreto reforzado, un enfoque básico. Editorial Prentice, Italia 1,992.
- 4 PRACTICAS DE LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES 1. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Centro de Investigaciones de Ingeniería, 1,993. p.p. 31-35.

APÉNDICE

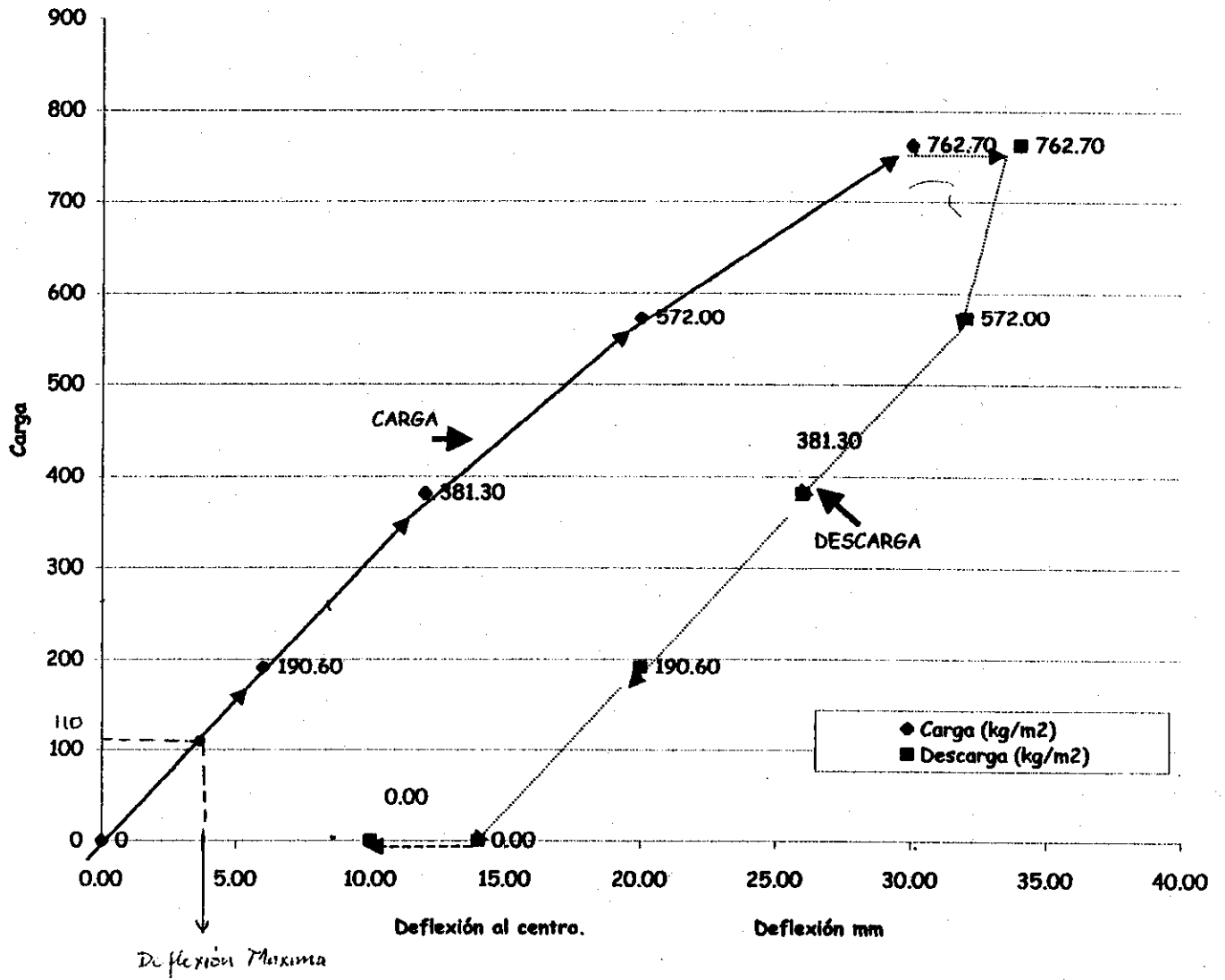


Figura A_1. Carga y descarga de losa 1.

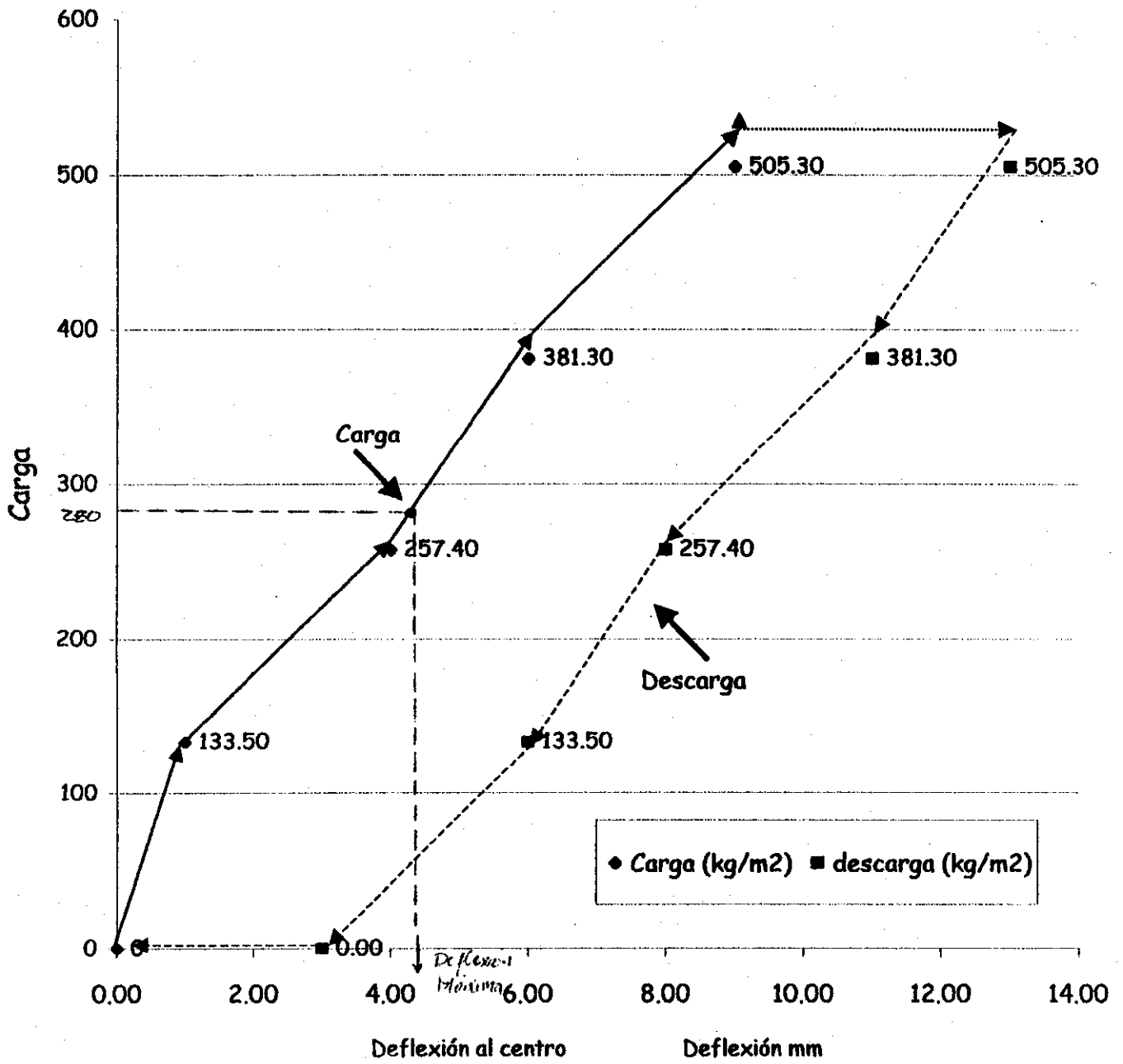


Figura A-2. Carga y descarga de losa 2.

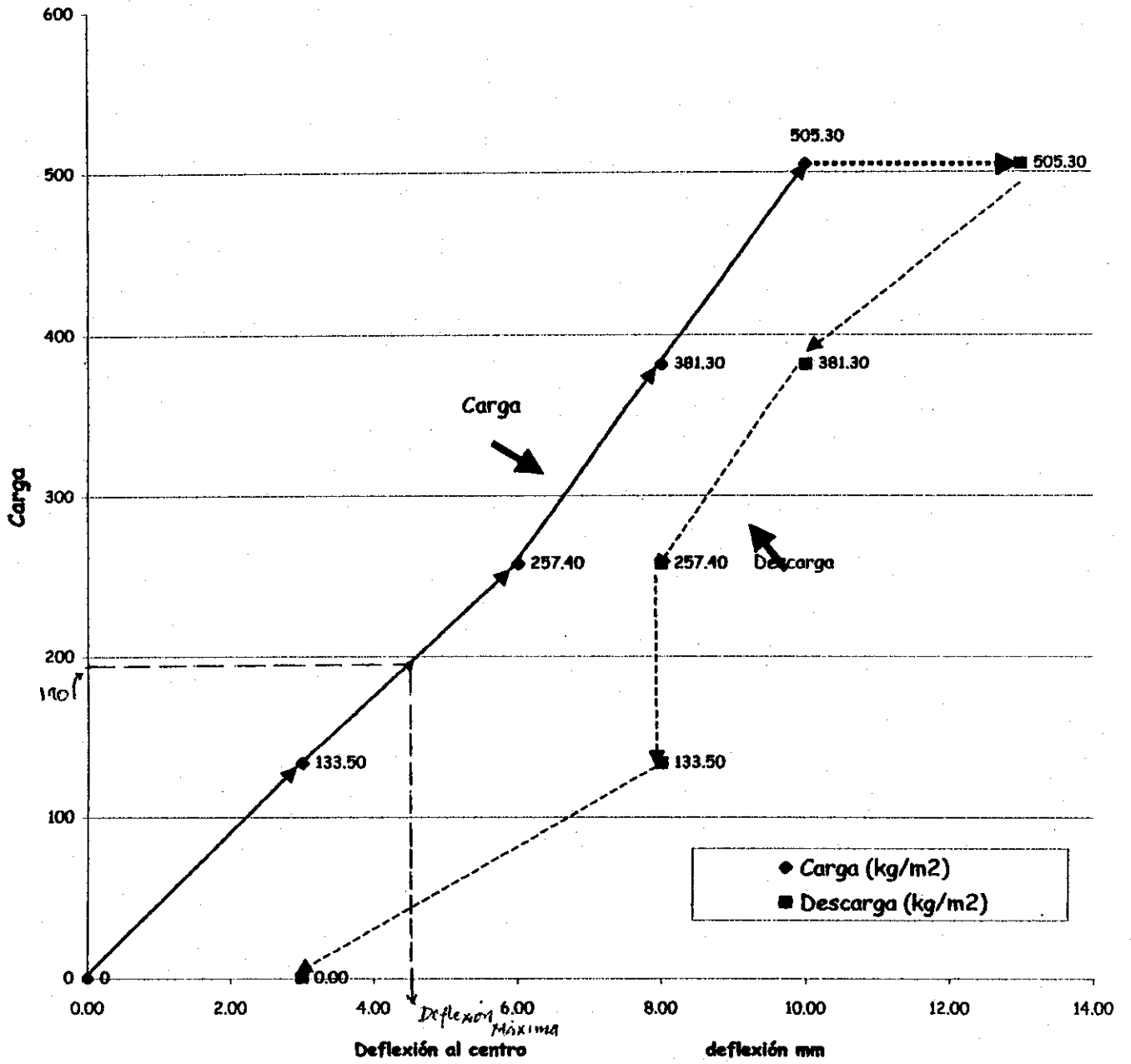


Figura A-3. Carga y descarga de losa 3.

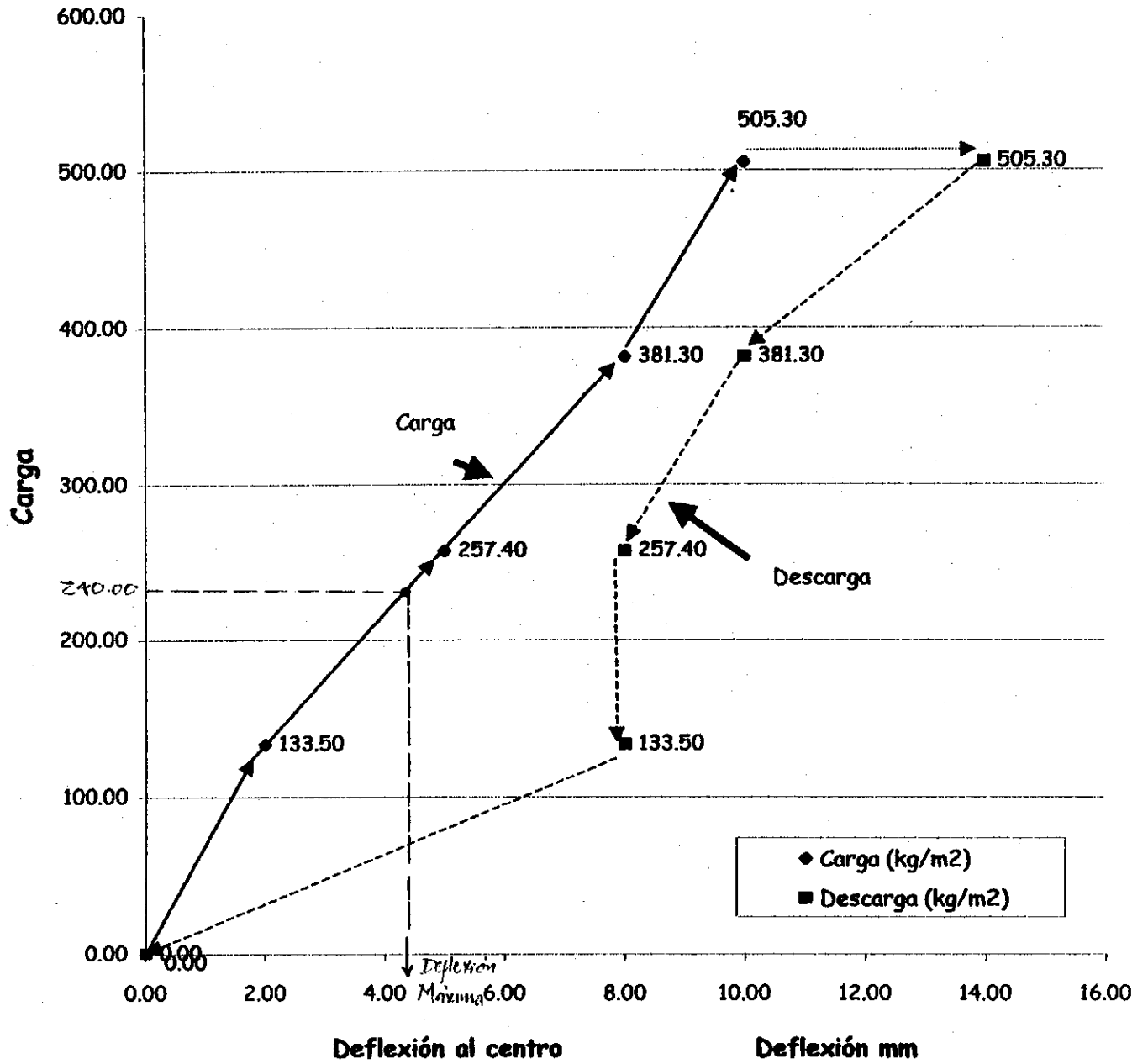
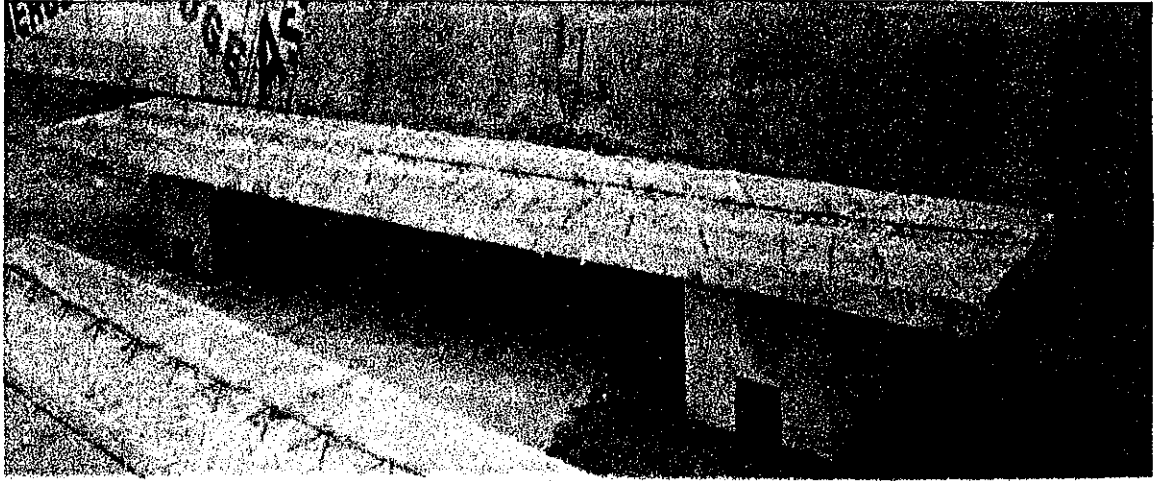
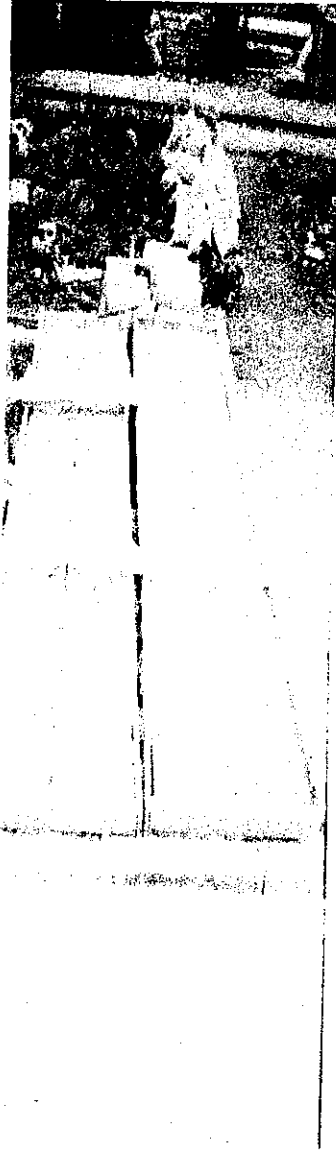


Figura A-4. Carga y descarga de losa 4



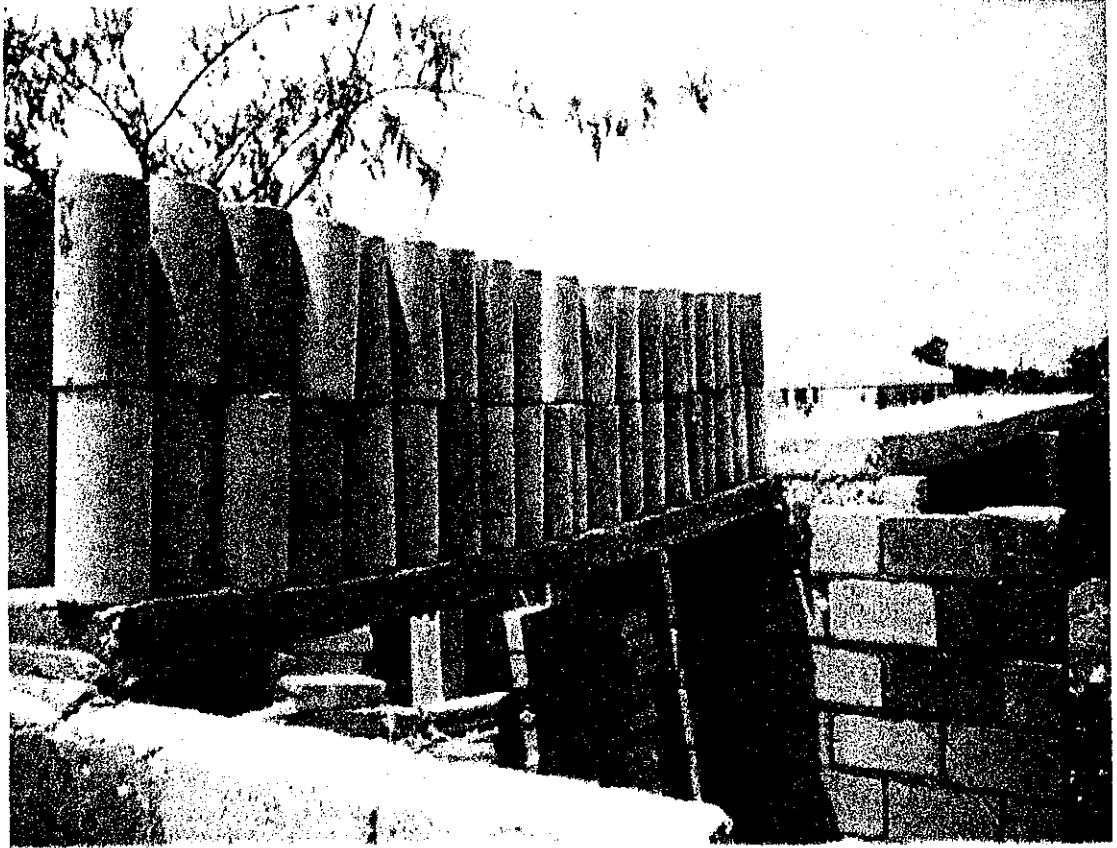
Fotografía No. 1 Planchas prefabricadas de concreto celular



Fotografía No. 2 Planchas con formaleta y estructurumalla previo a ser fundidas

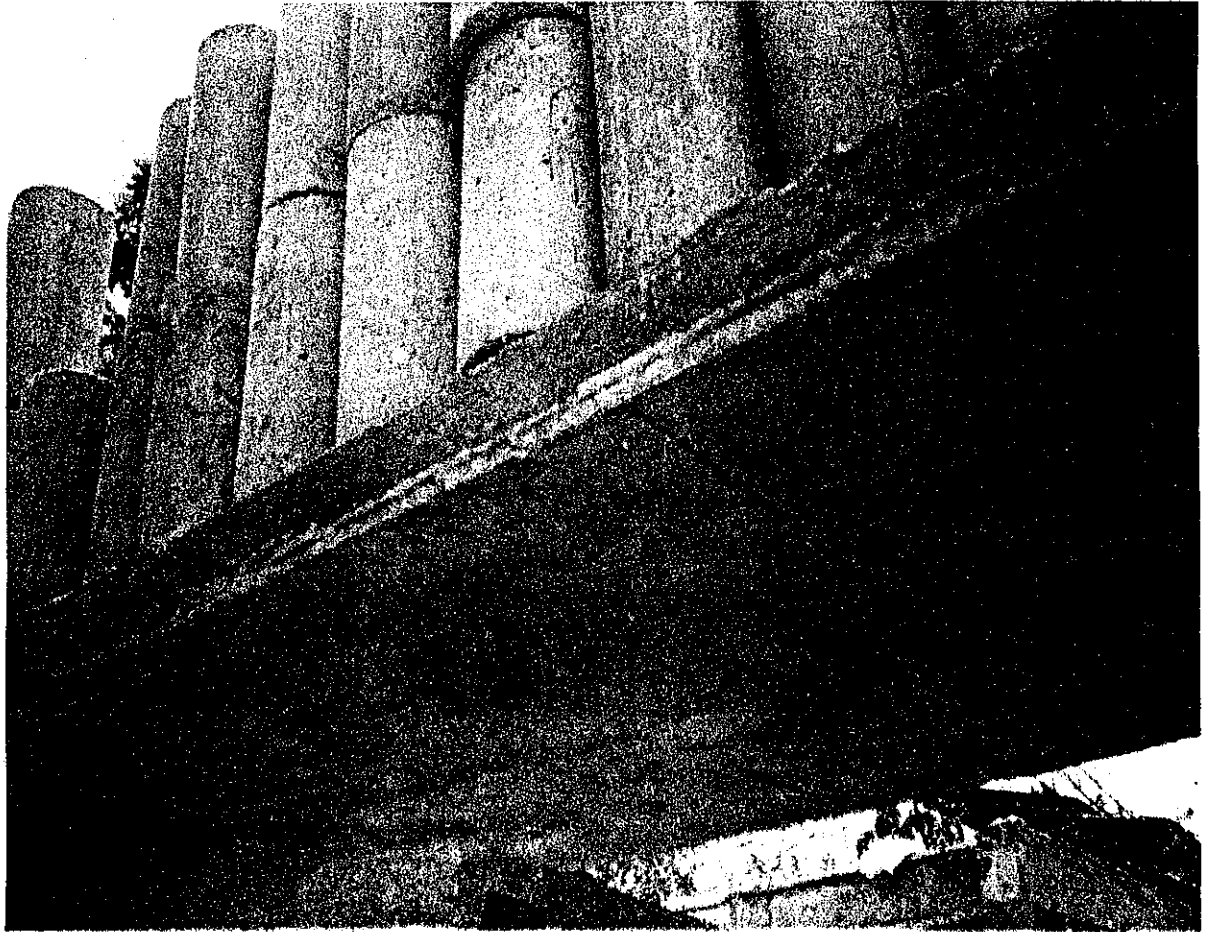


Fotografía No. 3 Toma de lecturas al centro de la losa



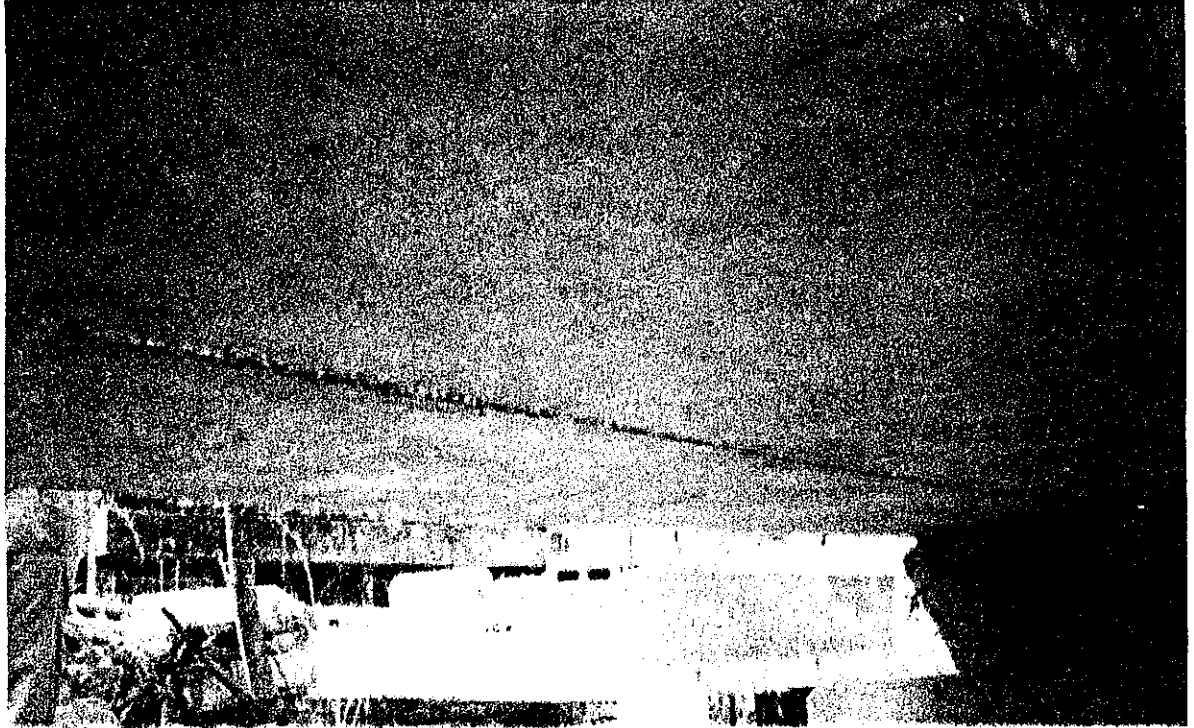
Fotografía No. 4 Última etapa de carga en losa 1

- Se observa la deflexión al centro sin llegar a ser la ruptura .
- Se hace notar que la losa está simplemente apoyada, siendo la condición más crítica en cuanto a apoyos



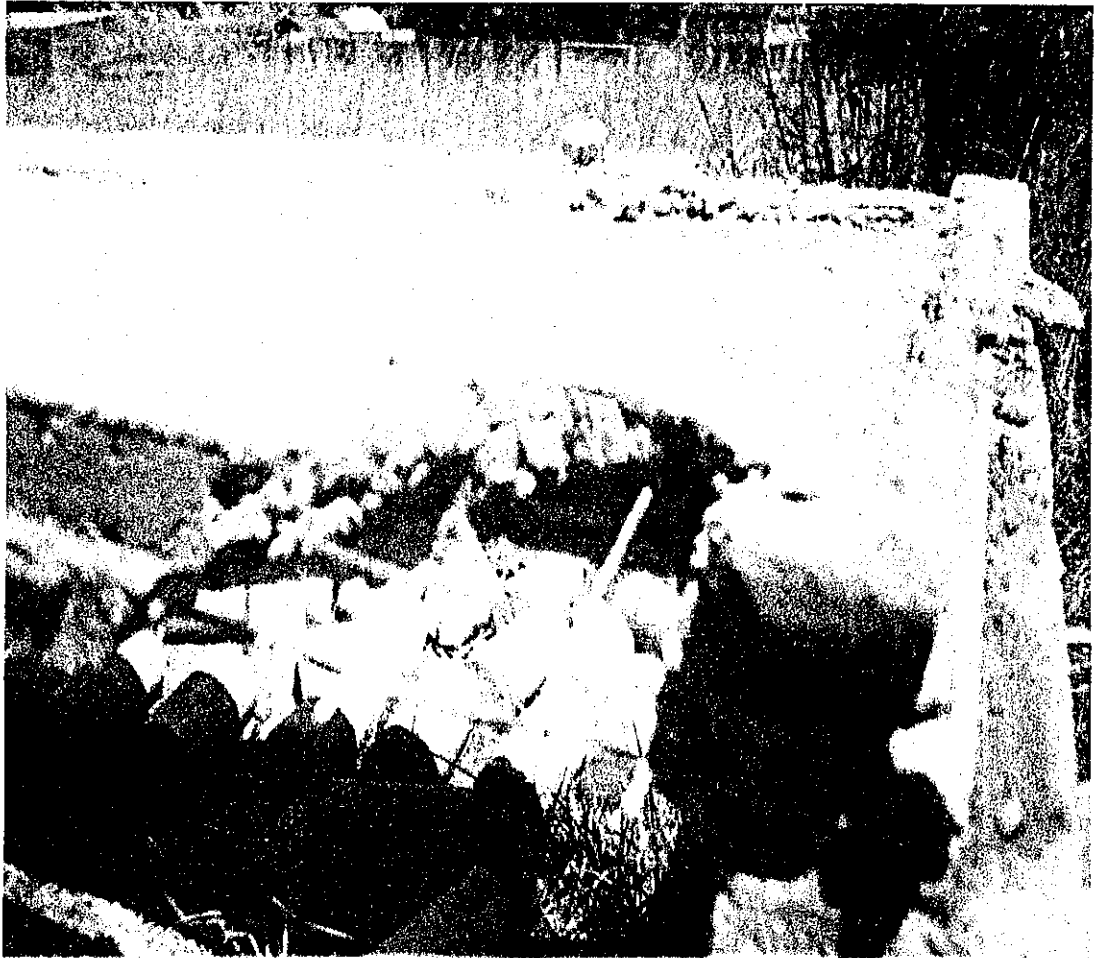
Fotografía No. 5 Losa cargada después de 24 horas

- No existen grietas
- Se aprecia la deflexión al centro



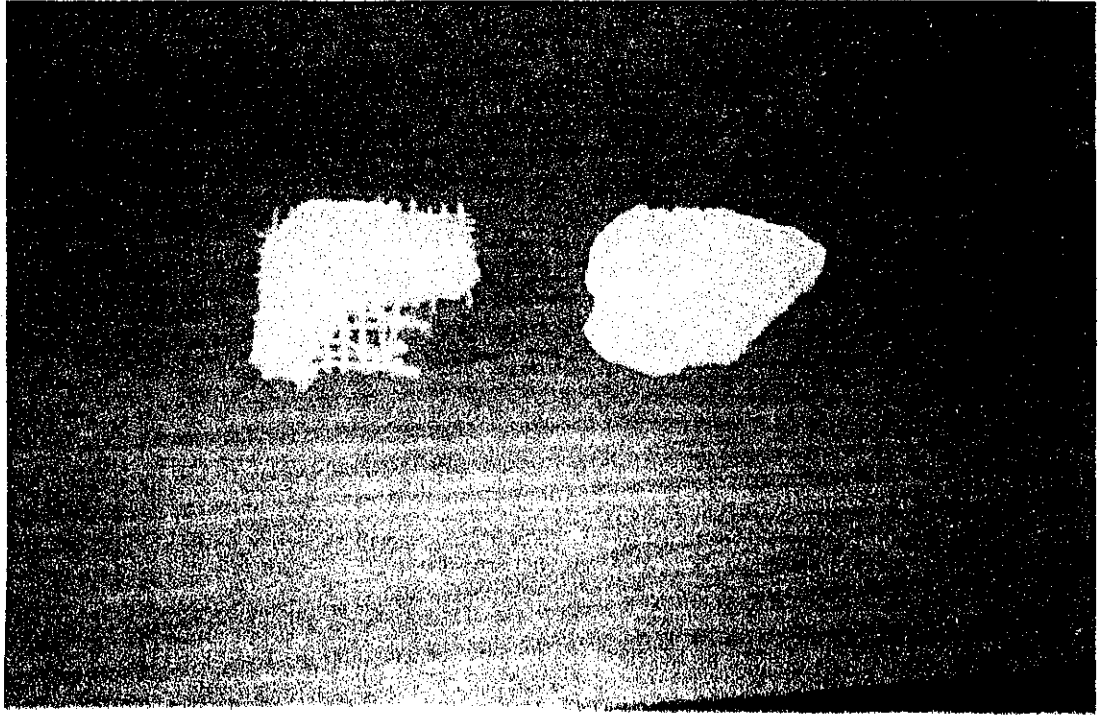
Fotografía No. 6 Losa descargada después de 24 horas

- Presenta una superficie sin grietas



Fotografía No. 7 Losa fracturada

- Excelente adherencia entre los concretos
- No hay desprendimientos de las fibras



Fotografía No. 8 Fragmentos de losa

- Izquierda, se observa las fibras en forma de tejido
- Derecha, fragmento sólo con fibras sueltas
- En ambos pedazos hay excelente adherencia entre fibras y concreto.