



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LOSAS
PREFABRICADAS DE CONCRETO ARMADO,
ALIGERADAS CON POLI ESTIRENO EXPANDIDO.**

José David Portillo Reynoso.
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LOSAS PREFABRICADAS DE
CONCRETO ARMADO, ALIGERADAS CON POLI ESTIRENO EXPANDIDO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ DAVID PORTILLO REYNOSO.

ASESORADO POR EL INGENIERO MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Wendel Rodas Aldana
EXAMINADOR	Ing. Renzo Grazioso Sierra
EXAMINADOR	Ing. Evelin Morales Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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 graduación titulado:

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LOSAS PREFABRICADAS DE CONCRETO ARMADO, ALIGERADAS CON POLI ESTIRENO EXPANDIDO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de enero de 2008.



JOSÉ DAVID PORTILLO REYNOSO

Guatemala, Miércoles, 08 de Julio de 2009

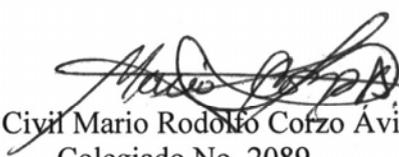
Ingeniero
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Ingeniero Quiñónez:

Por este medio, hago notificar que he revisado el trabajo de graduación titulado: "Análisis, Evaluación y Rediseño de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido.", del estudiante José David Portillo Reynoso; con carné 2003-12841, previo a optar al título de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila
Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Corzo
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 11 de agosto de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

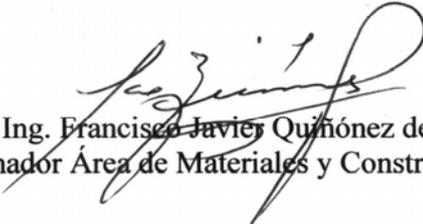
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación “**Análisis, evaluación y rediseño de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido**”, realizado por el estudiante universitario **José David Portillo Reynoso**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Portillo Reynoso**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante José David Portillo Reynoso, titulado ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LOSAS PREFABRICADAS DE CONCRETO ARMADO, ALIGERADAS CON POLI ESTIRENO EXPANDIDO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson

Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.434.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LOSAS PREFABRICADAS DE CONCRETO ARMADO, ALIGERADAS CON POLI ESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario **José David Portillo Reynoso**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and several vertical strokes below.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2009



/gdech

DEDICATORIA A:

DIOS Creador y señor de todo cuanto existe, cuya presencia es innegable y al cual las mentes soberbias no comprenden y niegan, pues Él ama la pequeñez y allí se esconde.

MIS PADRES Elsa Araceli Reynoso de Portillo
José Toribio Portillo Ortiz

Por todo su amor y guía, especialmente a ti mamá, gracias por tu ejemplo y enseñanzas, fuiste mi primer maestro.

MI ABUELITO José Víctor Reynoso Rojas

Aunque ya no esté en este mundo, jamás olvidaré todo el amor, ejemplo y apoyo que me brindó para poder seguir adelante, fue un padre para mí.

MIS ABUELOS Amelia Eulalia Caníz de Rojas
Toribio Portillo y Juana Ortiz de Portillo.

Me inculcaron valores profundos como el respeto y el honor.

MIS HERMANAS Elsa Johana Portillo Reynoso.
Arcenia Larissa Portillo Reynoso

Por su cariño y comprensión.

MI FAMILIA

En general, con mucho cariño y aprecio

MIS AMIGOS

Por su apoyo incondicional y sinceridad, tanto a los de ingeniería civil, como a los de ingeniería mecánica. Entre ellos: Laura, Elmer, Byron, Manuel, Axel Jiménez, Allan, Edwin, Andrea, Luisa y tantos más. Es una dicha haberlos conocido.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a la Facultad de Ingeniería, por haberme formado académicamente como profesional.

Los Ingenieros docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, por haberme dado a saber sus experiencias y conocimientos.

Ingeniero Mario Corzo Ávila, por la asesoría prestada en la realización de este trabajo de graduación y durante el transcurso de mis clases, siendo un catedrático ejemplar.

Ingeniero Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, por la revisión y corrección prestada en la realización del presente trabajo de graduación. Sus sugerencias fueron muy importantes.

Ingeniero Erick Guerra, por haberme brindado su apoyo para poder desarrollar este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EVALUADO	
1.1 Descripción de los materiales del sistema	1
1.2 Descripción del sistema en la construcción de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido.	3
2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA	5
3. FLEXIÓN EN LOSAS	
3.1 Generalidades sobre la flexión	7
3.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a flexión de las losas	7
3.3 Criterios utilizados para evaluar la máxima deflexión de las losas ensayadas	11
4. COMPRESIÓN DE PROBETAS	
4.1 Generalidades sobre la compresión	15

4.2	Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del concreto	15
4.3	Criterios utilizados para evaluar la máxima resistencia a compresión del concreto	16
4.4	Descripción del ensayo a compresión efectuado	16
4.5	Cálculo de carga y esfuerzo últimos a compresión	17
5.	ENSAYO A FLEXIÓN	
5.1	Descripción del ensayo a flexión efectuado	19
5.2	Cálculo de las cargas de diseño para la prueba	20
5.3	Cálculo de la deflexión máxima	21
6.	ANÁLISIS ESTRUCTURALES A LAS LOSAS	23
6.1	Cálculo del momento de diseño de las losas en condición simplemente apoyada con carga uniforme	26
6.2	Cálculo del momento resistente de las losas con los materiales y dimensiones propuestas	28
6.3	Cálculo de la resistencia a corte	33
7.	RESULTADOS	
7.1	Pruebas de flexión y porcentaje de recuperación	37
7.2	Pruebas de compresión	47
7.3	Pruebas de absorción	48
7.4	Discusión de los resultados	49
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Componentes de las losas	1
2	Sección doble de losas	4
3	Sección simple de losas	4
4	Sección propuesta	25
5	Elemento propuesto en tres dimensiones	26
6	Sección simplificada equivalente	29
7	Nomenclatura gráfica de sección equivalente	29
8	Cortante inducido por cargas	34
9	Cortante que resiste la losa	34
10	Detalle de armado de losas	35
11	Gráficos de carga y descarta losas uno y dos primera serie	61
12	Gráficos de carga y descarta losas tres y cuatro primera serie	62
13	Gráficos de carga y descarta losas uno y dos segunda serie	63
14	Gráficos de carga y descarta losas tres y cuatro segunda serie	64
15	Gráficos de carga y descarta losa cinco segunda serie	65
16	Fotografías de ensayos a losas	66
17	Fotografías de ensayos a losas	67

TABLAS

I	Factor de corrección para cilindros de concreto	15
II	Cargas a aplicar en losas primera serie	20
III	Cargas a aplicar en losas segunda serie	21
IV	Deflexión máxima criterio $l_t^2/20,000h$ primera serie de losas	22
V	Deflexión máxima criterio $l_t^2/20,000h$ segunda serie de losas	22
VI	Resultados tabulados de losa 1, primera serie	38
VII	Resultados tabulados de losa 2, primera serie	39
VIII	Resultados tabulados de losa 3, primera serie	40
IX	Resultados tabulados de losa 4, primera serie	41
X	Resultados tabulados de losa 1, segunda serie	42
XI	Resultados tabulados de losa 2, segunda serie	43
XII	Resultados tabulados de losa 3, segunda serie	44
XIII	Resultados tabulados de losa 4, segunda serie	45
XIV	Resultados tabulados de losa 5, segunda serie	46
XV	Características físicas de especímenes de concreto	47
XVI	Resultados de esfuerzo a compresión	47
XVII	Resultados de prueba de absorción	48

LISTA DE SÍMBOLOS

ACI	Instituto Americano del Concreto, por sus siglas en inglés (<i>American Concrete Institute</i>)
ACI 318-2005	Código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, en inglés <i>American Concrete Society for Testing and Material.</i>
A_s	Área de acero en tensión
b	Ancho de la viga en sección “L”
b_1	Dimensión efectiva del volado del patín de la losa.
b_w	Ancho efectivo del nervio de la losa.
β_1	Coefficiente utilizado en la teoría del bloque equivalente rectangular de Charles S. Whitney y su valor depende del f'_c del concreto
$^{\circ}\text{C}$	Escala de temperatura en grados centígrados.
CV	Carga viva

CM	Carga muerta
d	Peralte efectivo de la losa
E_s	Módulo de elasticidad del acero.
f'_c	Resistencia última a compresión del concreto a los 28 días.
f_s	Esfuerzo de tensión en el acero.
f'_{cr}	Resistencia a compresión para la cual una probeta se diseña.
f_y	Resistencia última en el punto de fluencia del acero.
h	Espesor total de la losa en milímetros.
K	Escala de temperatura absoluta en grados Kelvin.
l_n	Distancia libre entre apoyos en metros.
l_t	Distancia libre entre apoyos en milímetros.
M_n	Momento nominal
M_u	Momento último de diseño
V_c	Fuerza cortante que resiste el concreto

W_n	Carga última de diseño
Δ_{max}	Deflexión máxima medida en milímetros.
$\Delta_{r\ max}$	Deflexión residual medida en milímetros.
$\overline{\rho}_b$	Cuantía de acero para el nervio efectivo de la losa.
ρ_b	Cuantía de acero en la cual se presenta una falla balanceada.
$\overline{\rho}_f$	Porcentaje de refuerzo para el área de tensión necesario para desarrollar la resistencia de compresión del volado del patín en "L"
ρ_{min}	Cuantía de acero mínima a suministrar
ρ_w	Cuantía de acero neta en el nervio longitudinal de la losa
ρ_{max}	Cuantía de acero máxima a suministrar
%	Porcentaje
φ	Factor de reducción de resistencia

GLOSARIO

Carga muerta	Es el peso de la propia estructura y las cargas permanentes.
Carga viva	Es el peso de las cargas no permanentes
Copolímero	Polímero constituido por macromoléculas en las que se repiten dos o más tipos de unidades monoméricas.
Estructura	Elemento que sirve de soporte rígido de una construcción.
Flexibilidad	Capacidad de deformación de un material sin llegar al límite de fluencia.
Pentano	Cada uno de los hidrocarburos saturados de cadena lineal de cinco átomos de carbono.
Poli estireno expandido	Polímero derivado del estireno expandido por medio del pentano.

Polímero

Sustancia química que se construye por moléculas o grupos de moléculas que se repiten y están unidos entre sí formando cadenas

Monómero

Molécula simple que, mediante la unión con otras moléculas iguales, forma cadenas de varias o muchas unidades, llamadas polímeros.

Resiliencia

Resistencia de los cuerpos a la rotura por choque

Rigidez

Capacidad de un material para absorber energía en la zona elástica.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se realizó la evaluación de una propuesta de losas prefabricadas de concreto armado y aligeradas con poli estireno expandido, relativamente livianas, las cuales se evaluaron con ensayos a flexión y formaron la primera serie de losas ensayadas conforme los parámetros del capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 titulado: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES". Como referencia se tomó el criterio de la sección 9.5, del mismo código, con una deflexión máxima permitida de $L/360$; que por las dimensiones de las secciones de las losas, con pequeños espesores de concreto; su cumplimiento no fue garantía de una funcionalidad exitosa.

La carga aplicada sobre las losas se efectuó mediante cilindros de concreto de peso controlado, las losas se colocaron en posición simplemente apoyada y se tomaron lecturas en el centro de la distancia libre entre apoyos por medio de un deformómetro. Se notó un excesivo agrietamiento por flexión, mayormente localizado en el centro de la distancia libre entre apoyos; también grandes deflexiones en las losas, que en su conjunto formaron la primera serie ensayada.

Con el análisis de las causas de los problemas encontrados en la primera serie de losas ensayadas, se hizo un rediseño con las correcciones estructurales y geométricas necesarias, procurando mantener en lo posible las dimensiones principales de la sección transversal y los espesores de las losas, para darles la capacidad de soportar una carga viva apropiada para uso residencial de entepiso de por lo menos 200 kg/cm^2

Posteriormente se evaluó una nueva serie de losas rediseñadas con las correcciones estructurales y geométricas propuestas, logrando un diseño eficiente, manteniendo las dimensiones y espesores de la sección original en lo posible, procurando no aumentar el peso original de las losas. Este tipo de losas cumplió con los parámetros de deflexión establecidos por el capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005.

El ensayo a flexión para la segunda serie de losas ensayadas dio los resultados esperados a partir del análisis mecánico y estructural de las losas, siendo éstas aptas para soportar una carga viva de 210 kg/cm^2 .

OBJETIVOS

General:

Analizar, evaluar y rediseñar un nuevo sistema de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido para que sean estructuralmente seguras y constructivamente útiles.

Específicos:

1. Dimensionar adecuadamente las losas para que estructuralmente soporten cargas vivas de diseño de por lo menos 200 kg/m^2
2. Efectuar el análisis estructural pertinente para la colocación del refuerzo de acero adecuado y las proporciones de aligerantes en base a ensayos a flexión de losas de acuerdo al capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 titulado: "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES"; y compresión de probetas de acuerdo a la norma C39-72 "ESFUERZO A COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO" (en inglés: *compressive strength of cylindrical concrete specimens*) de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM.

INTRODUCCIÓN

Con el aumento del conocimiento de propiedades de los materiales de construcción; la creciente demanda de sistemas constructivos especializados; la presencia cada día más fuerte de la industrialización de los procesos de fabricación de elementos estructurales y procesos constructivos, que provocan la disminución del tiempo de entrega de las obras y la reducción de personal, generando mayores utilidades. La industria de la construcción se ve obligada a ofrecer continuamente nuevos sistemas constructivos, adaptables a los requisitos económicos y estructurales de los potenciales clientes. Estos sistemas deben demostrar que son seguros para las personas a las cuales servirán y que cumplirán con eficiencia las funciones para las cuales fueron diseñados

Este trabajo de graduación pretende evaluar y analizar la capacidad de absorber carga de un conjunto de losas prefabricadas de concreto armado con un núcleo de poli estireno expandido por medio del ensayo mecánico a flexión, tomando como límite aceptable de carga aquella que no ocasione deflexiones máximas a las aceptadas en el numeral 20.5.2 del capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 titulado: “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES”. Se tomaron también las consideraciones de la sección 9.5 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, titulada “CONTROL DE DEFORMACIONES”

También se pretende garantizar la seguridad de las losas comprobando que trabajen dentro del rango elástico que es fácilmente predecible y en el cual se basó el análisis estructural de las losas rediseñadas.

Este trabajo de graduación está formado por siete capítulos, de los capítulos uno al cuatro se encuentra toda la base teórica del trabajo y de los capítulos cinco al siete se encuentra la parte experimental.

Una primera serie de losas propuestas por el fabricante, sin una carga viva específica a resistir, demostró incompatibilidad de deformaciones, ya que el acero era muy dúctil y con poco recubrimiento. Esto provocó grandes grietas por flexión a las losas y también grandes deflexiones.

Una segunda serie de losas rediseñadas demostró su capacidad de soportar cargas vivas del orden de los 210 kg/m^2 ; cumpliéndose la meta propuesta para una carga viva de 200 kg/m^2 .

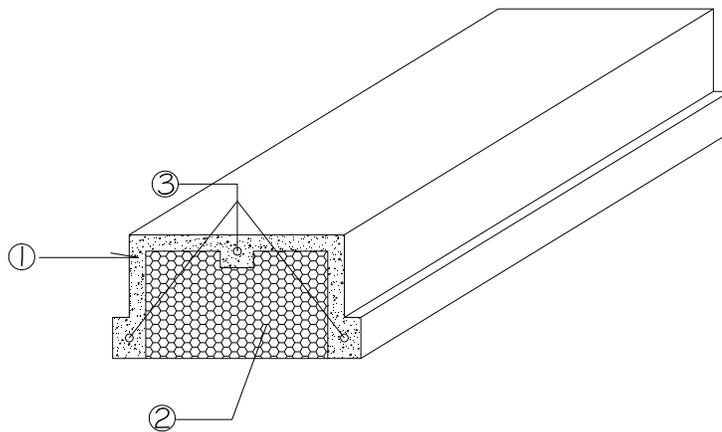
Actualmente, el sistema se tiene como un prototipo que será puesto en práctica

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EVALUADO

1.1 Descripción de los materiales del sistema

El sistema consiste en un conjunto de losas prefabricadas formadas, como se muestra en la figura 1; por un núcleo de poli estireno expandido (2) revestido por hormigón (1). Las losas poseen una armadura de acero como refuerzo (3).

Figura 1. Componentes de las losas



Como el sistema constructivo está basado en un material compuesto, es necesario para poder comprender e interpretar su comportamiento estructural, conocer cada uno de los materiales que lo conforman:

a) Concreto: tiene una resistencia f_c de 230 kg/cm^2 (3,290 PSI) con un agregado grueso máximo de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

b) Acero de refuerzo: El sistema de losas cuenta con una armadura de tres varillas de hierro número 3 grado 40 legítimo, con corrugado; en su sentido longitudinal, y estribos en "U" número 3 en cada nervio transversal.

c) Poli estireno expandido: se define técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poli estireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. Se obtiene mayormente a partir del petróleo.

El proceso productivo para su obtención utiliza como materia prima el poli estireno expandible, el cual se obtiene de la polimerización del estireno en presencia de un agente expansor (pentano). El poli estireno expandido es extraordinariamente ligero, sus densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m^3 hasta los 35 kg/m^3 . Posee una excelente capacidad de aislamiento térmico que se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poli estireno. Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (poli estireno), siendo el aire en reposo un excelente aislante térmico.

El poli estireno tiene una gran estabilidad dimensional, tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de los $5 \text{ a } 7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, es decir entre 0.05 y 0.07 mm por metro de longitud y grado Kelvin.

El límite superior de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100 °C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80 °C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa; lo que toma en cuenta no solo los cambios dimensionales por efecto de la variación de la temperatura sino sus alteraciones por efecto de la acción térmica.

1.2 Descripción del sistema en la construcción de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido

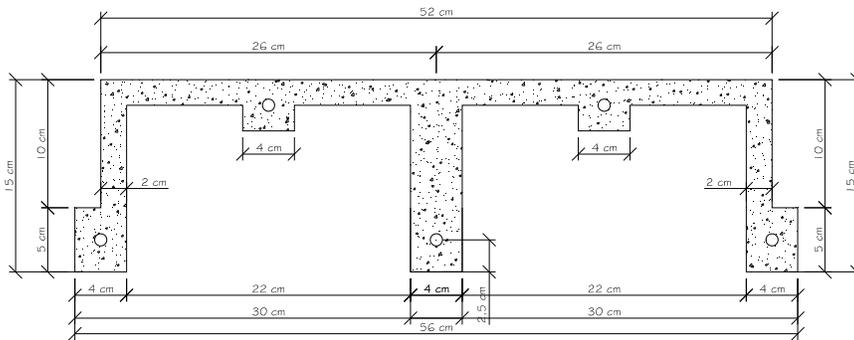
El primer material que se debe trabajar para lograr construir las losas debe ser el poli estireno expandido, el cual se adquiere fácilmente en el mercado nacional, en bloques de diversas medidas, se adquieren bloques cuadrados y en la planta se les da la medida final, esto se hace por medio de un transformador de voltaje de corriente alterna, el cual genera un voltaje elevado, que se hace pasar por alambre de cobre para bobinas calibre veintitrés que es prolongación de la bobina, el voltaje al pasar por el alambre conductor genera el calentamiento de este, causado por la histéresis, dicho calor es aprovechado para cortar el poli estireno en los perfiles requeridos.

Después se coloca el núcleo de poli estireno dentro de la formaleta externa para la losa, que está hecha de un molde de lámina de hierro de calibre 24 y se impregna con desencofrante. Se coloca el refuerzo transversal y longitudinal manteniéndolo separado de la formaleta y el polímero por medio de silletas de alambre y tacos de concreto, se vierte el concreto previamente mezclado con aditivo fluidificante y al finalizar se plancha con una espátula la que va a ser la parte superior de la losa.

Las formaletas se retiran a los cinco días, teniendo el concreto un curado total de 28 días. Teniendo por resultado los siguientes tipos de secciones:

Secciones transversales del sistema: son de dos tipos diferentes, los cuales se muestran a continuación en las figuras 2 y 3.

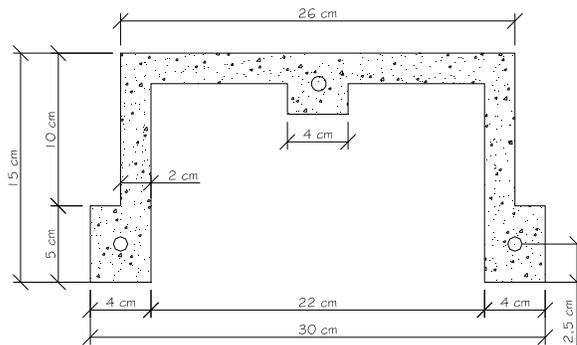
Figura 2. **Sección doble de losas**



5 No. 3 Grado 40 longitudinales

Seccion actual

Figura 3. **Sección simple de losas**



3 No. 3 Grado 40 longitudinales

Seccion actual

2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA

Ventajas

1. Alta capacidad de las losas de soportar carga y reducidas deflexiones
2. Reducido peso comparado con su volumen
3. Alto aislamiento térmico y acústico gracias al poli estireno expandido.
4. Gran compatibilidad de las deformaciones térmicas de los materiales que conforman el sistema, ya que el coeficiente del poli estireno expandido es muy alto ($5 \text{ a } 7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$), este no sufre cambios de volumen por cambios de temperatura, por lo que al ser forjada y repellada la losa no se verán fisuras, contrario al caso de un sistema de vigueta y bovedilla de block. En el caso del acero el coeficiente de dilatación térmica es de $11 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ y en el del concreto es de $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ por lo que en todos los materiales utilizados tenemos una gran estabilidad dimensional frente a cambios de temperaturas.
5. Durante el curado del concreto en la planta, el poli estireno expandido es inerte a reacción química y absorción, por lo que el fraguado no es acelerado por absorción y se conserva el calor de hidratación necesario del concreto.

6. Reducido costo comparado con un sistema tradicional de resistencia equivalente
7. Reducida cantidad de mano de obra para instalar las losas
8. Menor tiempo de espera para utilizar las losas.

Desventajas

1. Se debe tener cuidado de no dañar el núcleo de poli estireno expandido durante el estibaje de las losas.
2. Debido al poco espesor de las losas, éstas deben ser transportadas con cuidado para evitar daños en las almas o en la parte superior, lo que disminuiría o anularía su la capacidad de soportar cargas.

3. FLEXIÓN EN LOSAS

3.1 Generalidades sobre la flexión

Cuando un elemento estructural sufre de esfuerzos compresivos en una parte de su sección transversal y de esfuerzos tensores en la parte restante es porque está sometido a flexión. Esto se debe a las cargas que actúan en una estructura, por ejemplo: cargas por temperatura, contracción, viento, vivas y el peso propio de la estructura. En la sección transversal del elemento, el eje a lo largo del cual los momentos flexores son cero es llamado eje neutro. Dentro de una sección de concreto armado sometida a flexión en un extremo de la sección se tendrá la máxima deformación unitaria del concreto debido a la fuerza interna de compresión, esta deformación unitaria se toma como 0.003 mm/mm y en el refuerzo de acero más externo del lado opuesto tendremos la deformación máxima provocada por las fuerzas de tensión que es tomada como E_s / f_s . Se desprecia la poca resistencia que el concreto pueda ofrecer al esfuerzo de tensión provocado por flexión, comúnmente conocido como módulo de ruptura. Los esfuerzos de flexión resultan de los momentos flexores internos, estos determinan la selección de las dimensiones geométricas de una sección de concreto armado.

3.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a flexión de las losas

Conforme se incrementa la carga sobre un elemento a flexión se propicia el desarrollo de micro grietas por flexión a lo largo de la distancia entre apoyos del elemento. Estas definidas como grietas no visibles al ojo humano y no deben sobrepasar niveles capilares.

Estos niveles capilares están alrededor de 1/50 de milímetro, que es el límite visible al ojo humano; esto para proteger al acero de refuerzo, ya que aunque estructuralmente no esté fallada una viga que presente macro grietas, estas representan una amenaza en el mediano y largo plazo para el acero de refuerzo, dependiendo de la agresividad del clima donde se encuentren; estos estudios los trata la micro mecánica del concreto.

La ley de Hooke establece que, dentro de ciertos límites, la tensión en un material es proporcional a la deformación que origina. Un material elástico no obedece necesariamente a la ley de Hooke, ya que es posible para algunos materiales recuperar su forma original sin la condición limitadora de que la tensión sea proporcional a la deformación que origina.

Conforme se aplica carga a un elemento se puede apreciar en un gráfico de esfuerzo-deformación un punto en el cual la curva empieza a desviarse de la línea recta. Más allá de él, el material no obedece ya la ley de Hooke. Si se aumenta la carga hasta que se sobre pase el límite de proporcionalidad, y que la carga se disminuya nuevamente a cero y no se observa deformación permanente se dice que se trabajó debajo del límite elástico.

Para muchos materiales se obtiene un punto en el que la deformación empieza a crecer muy rápidamente sin el correspondiente incremento de la tensión. Este se llama punto o límite de fluencia. El material pasa ahora de una condición elástica a un estado plástico, impredecible y en el campo estructural dentro de las cargas normales de trabajo indeseable. Con la salvedad de su necesidad para disipar energía en caso de sismos fuertes.

Se pensaría que en una viga bien dimensionada, desde el punto de vista de eficiencia en el aprovechamiento de los materiales, tanto el concreto como el acero fallen al mismo tiempo en el centro del claro cuando se alcance la resistencia última de la viga. Pero por razones de seguridad y advertencia para los habitantes de la estructura se busca obtener una sección sub reforzada.

Para definir el comportamiento de la sección se consideran las siguientes hipótesis:

1. Se supone una distribución lineal de la deformación.
2. La deformación en el acero y en el concreto que lo rodea es la misma antes del agrietamiento del concreto o de la fluencia del acero.
3. El concreto es débil en tensión, agrietándose a una etapa temprana de carga al rededor del 10% de su resistencia límite de compresión. Por lo que el concreto en la zona de tensión se omite en los cálculos.

Por estas razones, el diseño y evaluación del comportamiento de una estructura debe estar fundamentado en un código y normas específicas, que garanticen la confiabilidad de la estructura, en este caso se utilizó lo estipulado por el código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 y especialmente los capítulos 16 “HORMIGÓN PREFABRICADO” y 20 “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES” que establecen en resumen lo siguiente:

La sección 16.10 “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS” del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 en su numeral 16.10.1 se permite que un elemento prefabricado que será transformado en uno compuesto mediante hormigón vaciado en sitio, sea ensayado como un elemento prefabricado aislado en flexión.

Según el numeral 16.10.2 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, las disposiciones de la sección 20.5 “CRITERIOS DE ACEPTACIÓN” del mismo código deben ser la base para la aceptación o rechazo de los elementos prefabricados.

Según el numeral 20.3.2 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, la carga total de prueba, incluyendo la carga permanente ya presente no debe de ser menor que $0.85 \times (1.4CM + 1.7CV)$ -CM. Se usará como mínimo una carga viva de 200 kg/m^2 y se irá aumentando en otras losas para verificar hasta donde las deflexiones son aceptables y que tipo de comportamiento en sobrecarga manifiestan.

Según el numeral 20.3.3 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, se ensayarán las losas cuando tengan una edad de 56 días como mínimo cada una. Y según el numeral 20.4.1 del mismo código, las mediciones de deflexión y observación de grietas se harán en el centro del claro de las losas, que es el área donde se espera la mayor deflexión.

Se aplicarán cuatro incrementos de carga aproximadamente iguales según el numeral 20.4.2 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005. Debe realizarse un conjunto de mediciones de la respuesta después de que se aplica cada incremento de carga, y después que se ha aplicado el total de la carga sobre las losas por al menos 24 horas.

En el caso de la carga muerta se omite el peso del poli estireno el cual es insignificante y se toma en cuenta el peso específico del concreto usado que es $2,106.7 \text{ kg/m}^3$.

3.3 Criterios utilizados para evaluar la máxima deflexión de las losas

No solo debe tomarse en cuenta la deflexión máxima que pueda presentarse en un elemento, sino también comprobar que durante el proceso de carga se trabajó dentro de un rango elástico, ya que se puede tener elementos tan rígidos y poco elásticos que con una pequeña deflexión hayan trabajado dentro de un indeseable rango plástico. También, por el contrario se puede tener elementos flexibles y resistentes que al tener una deflexión relativamente mayor no hayan trabajado fuera del rango elástico, en este caso siempre es importante un control de deflexiones por cuestiones estéticas, siempre y cuando no se presenten agrietamientos.

Según el capítulo 20 “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES” del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 en su numeral 20.5.2 se tiene que $\Delta_{max} = l_t^2 / (20,000h)$, donde:

h es el espesor de la losa en milímetros

l_t^2 es la distancia libre entre apoyos en milímetros

Δ_{max} es la deflexión máxima medida en milímetros

En el caso se exceda Δ_{max} el código toma en cuenta que se podría deber a flexibilidad de la losa por un rango elástico más amplio, entonces se debe medir la deflexión máxima residual, $\Delta_{r\ max}$, que se toma 24 horas después de haber sido descargada la losa.

La diferencia entre las deflexiones inicial y final (después de la remoción de la carga) es la deflexión máxima residual, $\Delta_{r\ max}$, la cual debe ser menor o igual a $\Delta_{max} / 4$

La deflexión máxima residual toma en cuenta que el movimiento de los átomos, defectos cristalinos y energía térmica son procesos en función del tiempo. Está dependencia de la deformación elástica del tiempo y del esfuerzo se conoce como efecto inelástico.

El efecto elástico posterior es el acercamiento asintótico de la deflexión hasta su valor de equilibrio, con el transcurso del tiempo, después de haberse aplicado carga. Por lo que sólo se midieron las deflexiones macroscópicas que son totalmente recuperables con el transcurso del tiempo después de eliminar la carga aplicada sobre las losas.

Aunque el tipo de pruebas contenidas en el capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 se efectúan para estructuras existentes armadas en conjunto, siendo estáticamente indeterminadas y en el caso de las losas ensayadas estaban simplemente apoyadas, en condición estáticamente determinada, sin redistribución de momentos debido a falta de empotramiento que redujera el momento positivo que se tuvo en el centro de la distancia libre entre apoyos. Teniendo conocimiento que esto significó una mayor deflexión de la que se obtendría con un sistema de muro-viga de borde se tomaron en cuenta para efectos de comparación las consideraciones de control de deformaciones sección 9.5 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, con el criterio de $L/360$; que es más benevolente en cuanto respecta a la deflexión máxima alcanzada, pero no toma en cuenta la elasticidad de un elemento prefabricado.

4. COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

4.1 Generalidades sobre la compresión:

Actualmente se puede llegar a resistencias a la compresión del concreto arriba de los 14,000 PSI. La resistencia depende del tipo de mezcla, propiedades de los agregados del tiempo y tipo de curado que se le de. Comercialmente se produce concreto con resistencias a la compresión dentro del rango de 300 a 10,000 PSI. Siendo las resistencias más comunes para construcción de casas y edificios de 3,000 a 4,000 PSI. La resistencia en la estructura real puede ser menor que en las probetas si no se dan las mismas condiciones de compactación y curado, por lo que el ingeniero supervisor debe ejercer estricto control de calidad en el proceso de colado y curado del concreto.

La esbeltez es una característica importante en la aplicación de carga de compresión a un elemento, la esbeltez puede aumentar los riesgos de falla y por eso muchos elementos se clasifican como cortos y largos; y esta diferencia cambia la importancia de las variables a tomar en cuenta en el diseño.

4.2 Criterios utilizados para la evaluación del comportamiento a compresión del concreto

Como es del saber de todo estudiante y profesional de la ingeniería civil, el concreto es un compuesto no elástico, en los gráficos de esfuerzo de ingeniería vrs. deformación unitaria se puede apreciar que la no linealidad de su comportamiento comienza a etapas muy cortas de carga, por lo que para el diseño se toma la resistencia última a compresión (f'_c).

La máxima resistencia a compresión para la cual una probeta se diseña (f'_{cr}), no debe ser la especificada por el diseñador, la mezcla deberá sobre diseñarse para asegurar que el elemento estructural tenga un concreto con una resistencia mínima a la compresión especificada (f'_c)

4.3 Criterios utilizados para evaluar la máxima resistencia a compresión del concreto

La máxima resistencia a compresión del concreto se obtiene por medio de especímenes cilíndricos de concreto, la norma más utilizada es la ASTM C 39-86 “ESFUERZO A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO” de la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales, ASTM; que es el método estándar de esfuerzo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto y consiste en aplicar una carga compresiva axial al cilindro de concreto con un área transversal previamente conocida.

4.4 Descripción del ensayo a compresión efectuado

Inmediatamente después de ser removidos del recinto de curado los especímenes deben ser ensayados en su condición húmeda. El diámetro usado para determinar la sección transversal del espécimen deberá aproximarse a la 0.01 plg (0.25 mm) más cercana midiendo dos diámetros en ángulos perpendiculares cerca de la altura media del espécimen. No se usarán cilindros de concreto en los que un diámetro individual difiera de otro diámetro del mismo cilindro más de un 2%.

Los especímenes deben tener como máximo una variación de 0.5 grados de su eje con respecto al eje de aplicación de la carga (equivalente a 1/8 de pulgada por cada 12 pulgadas de altura del cilindro), para evitar variaciones mayores se usa una mezcla de azufre que se aplica en caliente sobre los extremos de los cilindros previamente nivelados, al enfriarse el azufre se proporciona una superficie plana, nivelada y rígida para soportar las cargas que serán aplicadas.

4.5 Cálculo de carga y esfuerzo último a compresión

El esfuerzo a compresión del espécimen es calculado dividiendo la máxima carga soportada durante la prueba entre la sección transversal del espécimen y el resultado debe aproximarse a 10 PSI.

Si la relación entre la altura del cilindro y su diámetro es menor que 1.8 se corrige el resultado anteriormente obtenido multiplicándolo por el factor de corrección apropiado mostrado en la siguiente tabla:

Tabla I. Factor de corrección para cilindros de concreto

Longitud / diámetro	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: Norma ASTM C 39-86

5. ENSAYO A FLEXIÓN

5.1 Descripción del ensayo a flexión efectuado

Al término de 56 días de fundidas las losas propuestas por el fabricante, llamadas primera serie de losas, se colocaron en posición simplemente apoyadas; se midieron las distintas luces libres entre apoyos, se calculó la carga a aplicarles y se distribuyó uniformemente con la ayuda de cilindros de concreto de peso controlado en cuatro incrementos, durante cada uno de los cuales se tomaban medidas de deflexión.

Las lecturas de las deflexiones se hicieron directamente con deformómetros de precisión 0.01 mm al centro de la distancia libre entre apoyos de las losas e indirectamente se dio una idea de la resiliencia en el rango elástico y rigidez de las losas. Se dejaron cargadas durante 24 horas, se tomó la deflexión, luego en proceso inverso se descargó en cuatro decrementos, siempre tomando las lecturas de deflexiones. Al estar completamente descargada se mantuvo con el deformómetro durante 24 horas y se tomó la deflexión final.

En cada intervalo de carga se observaba si se habían producido fisuras y de ser así se marcaban con crayón. De la misma manera se procedió con las losas rediseñadas, llamadas segunda serie de losas.

5.2 Cálculo de las cargas de diseño para la prueba

Para las losas propuestas por el fabricante, primera serie, la carga muerta no factorizada se calculó como sigue: Primero se determinó el peso propio de la losa multiplicando el área de la sección transversal de la losa por la longitud de losa por peso específico del concreto usado que en este caso es de 2400 kg/m³, luego este peso se dividió dentro el área vista en planta de la losa para así obtener la carga muerta, CM, no factorizada en kg/m².

La carga viva fue simulada con cilindros de concreto de masa controlada y las cargas integradas para prueba se obtuvieron de la fórmula:

$0.85 \times (1.4 \cdot CM + 1.7 \cdot CV) - CM$; dando como resultado los datos observados en la tabla II:

Tabla II. **Cargas a aplicar en losas primera serie**

	Peso kg	Área en planta en m ²	Carga muerta en kg/m ²	Carga viva en kg/m ²	Carga a aplicar en kg/m ²	carga a aplicar en kg
Losa 1 Doble	278	2.52	110	250	382.	963.
Losa 2 Doble	248	2.24	111	250	382.	856.
Losa 3	160	1.13	142	245	381.	428.
Losa 4	117	0.98	120	550	817.	797.

Para las losas rediseñadas, segunda serie, las cargas se calcularon bajo el mismo procedimiento; tomando en cuenta que fueron diseñadas para soportar una carga viva de 200 kg/m², y para efectos de prueba de la influencia en la geometría de la sección algunas losas se cargaron más allá de ese límite. Los resultados se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla III. **Cargas a aplicar en losas segunda serie**

	Peso propio kg	Area en planta en m2	Carga muerta en kg/m2	Carga viva en kg/m2	Carga a aplicar en kg/m2	carga a aplicar en kg
Losa 1	163	1.10	149	275	426	466
losa 2	163	1.10	149	200	317	347
Losa 3	163	1.10	149	200	317	347
Losa 4	163	1.10	149	210	332	363
Losa 5	163	1.10	149	200	317	347
Losa 6	163	1.10	149	200	317	347

5.3 Cálculo de la deflexión máxima

Se debe utilizar la fórmula $\Delta_{\max} = l_t^2 / (20,000h)$; donde:

Δ_{\max} es la máxima deflexión esperada para un elemento rígido sin esperar recuperación.

h es el espesor de la losa en milímetros

l_t^2 es la distancia libre entre apoyos en milímetros

Como se aprecia en la fórmula, Δ_{\max} está limitada por las dimensiones del elemento, si para un mismo tramo y con un cálculo estructural previamente realizado, se usa una viga o losa de gran espesor, es por que el material que lo compone es muy rígido y se tiene un limitado el rango de deflexiones por razones de seguridad y de aspecto. Si para ese tramo el cálculo permite usar un elemento de menor espesor, ya que el material es mas resistente a flexión, se tiene un rango más amplio de deflexiones.

Si en cualquiera de los dos casos se sobrepasa la deflexión permitida, el código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05), toma en cuenta que el elemento estructural trabaje aún dentro del rango elástico, si es así no habrá más limitante que llegar a cumplir con la deflexión máxima residual de recuperación del elemento después de 24 horas de ser completamente descargado.

La deflexión máxima para las losas evaluadas bajo el criterio del capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05) se aprecia en la tabla IV:

Tabla IV. Deflexión máxima criterio $l_t^2/20,000h$ primera serie de losas

	l_t (mm)	h (mm)	Deflexión Permitida en mm
Losa 1	4,275	150	6.09
Losa 2	3,500	150	4.08
Losa 3	3,500	150	4.08
Losa 4	3,000	150	3.00

La deflexión máxima para las losas rediseñadas bajo el criterio del capítulo del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05) se aprecia en la tabla V:

Tabla V. Deflexión máxima criterio $l_t^2/20,000h$ segunda serie de losas

	l_t (mm)	h (mm)	Deflexión Permitida en mm
Losa 1	3,420	150	3.90
losa 2	3,360	150	3.76
Losa 3	3,410	150	3.88
Losa 4	3,410	150	3.88
Losa 5	3,415	150	3.89

6. ANÁLISIS ESTRUCTURALES A LAS LOSAS

Siendo las losas a considerar un material compuesto, lo que significa que se pueden combinar y modificar los materiales que las conforman y obtener las propiedades deseadas de rigidez, resistencia, peso, etc. Para el diseño de las losas se tomarán en cuenta dos aspectos importantes, los cuales son: la capacidad estructural y aspecto geométrico.

Es aspecto geométrico es importante debido al poco espesor de los nervios y del patín que se tendrá, se debe aprovechar al máximo los espesores para proveer un buen recubrimiento al acero que le garantice la suficiente protección contra el ambiente y la adherencia necesaria con el concreto. También se necesita disminuir los puntos de concentración de tensiones en lugares críticos como esquinas y quiebres concentrando los esfuerzos en las partes deseadas del elemento estructural.

Las losas prefabricadas y cualquier elemento de hormigón armado en su estado de carga última no se comportan ni homogénea ni elásticamente. Por ello se adoptarán para su análisis y diseño las fórmulas y factores dados por el código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05), que se basa en el método de diseño por resistencia utilizando los factores de carga y los factores de reducción de resistencia del capítulo 9 “REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIALIDAD” del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05); los cuales tienen en cuenta todas las incertezas posibles y fuerzas no tomadas en cuenta.

El análisis de fuerzas internas provocadas por flexión se basará en el bloque rectangular equivalente que Charles S. Whitney propuso en 1,937 que se adoptará para la redistribución supuesta de las fuerzas de compresión dentro de la sección a evaluar.

Criterios de diseño: se diseñará una sección subreforzada para proporcionar advertencia suficiente a los habitantes de que se está presentando la falla y tengan el tiempo necesario para tomar las medidas de seguridad adecuadas. Según el numeral 16.4.1 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05); en losas de piso o techo en una dirección, no mayores de 4 m se permite que los requisitos de armado por retracción y temperatura de la sección 7.12 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-05), en la dirección normal a la armadura por flexión sean omitidos, y estas losas están dentro de este rango.

Materiales a usar: se modifica el acero a usar por varillas de alta resistencia a la tensión de $5,000 \text{ kg/cm}^2$ (Grado 70 norma ASTM A-496) lo cual impedirá la fluencia del acero en cargas tempranas; como se verificó con la primera serie de losas ensayadas, las cuales presentaron serios agrietamientos.

Modificación geométrica: se tienen ancho efectivo del nervio de 2.5 cm, espesor efectivo del patín de 3.03 cm, peralte de 12.3 cm. Se modifica el refuerzo longitudinal por su equivalente en resistencia en grado 70 por lo que las varillas No. 3 grado 40 del refuerzo inferior son sustituidas por las de diámetro 7.20 mm con un área efectiva de 0.407 cm^2 y la varilla de acero superior por no estar sometida a esfuerzos de tensión pero por medidas de seguridad es sustituida por una diámetro 5.5 mm con un área efectiva de 0.238 cm^2

En las partes principales se sustituyen los cambios de ángulos y de forma repentinos, por curvas suavizadas por los diámetros mostrados. Esto proporciona la ventaja geométrica de no crear puntos de concentración de esfuerzos excesivos y en el caso de la elipse, la parte superior de la losa trabaja como una bóveda que tiene sus dos focos en el centro de las almas de la losa, como se muestra en la siguientes figuras:

Figura 4. Sección propuesta

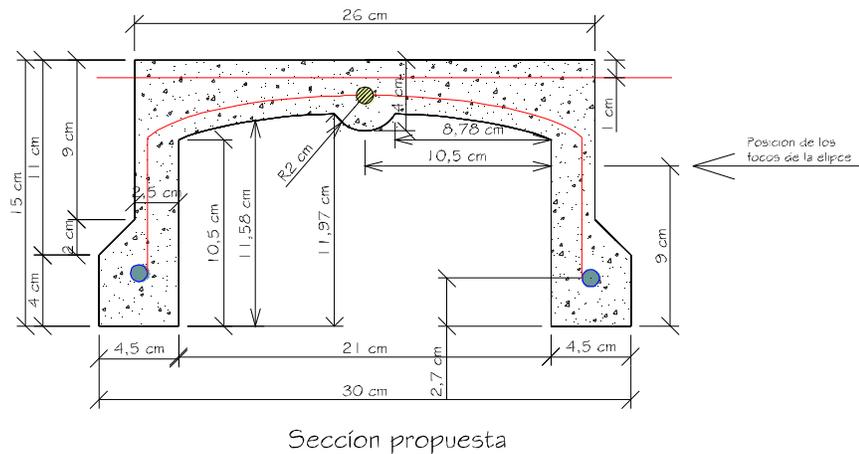
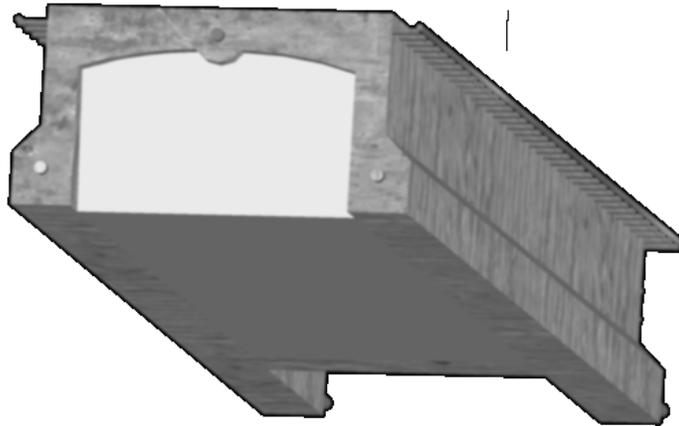


Figura 5. Elemento propuesto en tres dimensiones



6.1 Cálculo del momento de diseño de las losas en condición simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida

El momento último de diseño, M_u está dado por ϕM_n , donde ϕ es el factor de reducción de resistencia que tiene un valor de 0.85 para elementos sometidos a flexión y M_n es el momento nominal. Para el caso de elementos simplemente apoyados en sus dos extremos M_u está dado por $(W_u \times L_n^2) / 8$ Donde W_u Es la carga última de diseño en kg/m y L_n es la distancia libre de la losa en metros.

El ancho total de las losas es de 0.30 metros

Para la losa número se tiene:

$$L_n = 3.42 \text{ m}$$

$$W_u = (0.85 (1.4CM + 1.7CV) - CM) * 0.30$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \times 148.80 \text{ kg/m}^2 + 1.7 \times 275 \text{ kg/m}^2) - 148.80 \text{ kg/m}^2) * 0.30 \text{ m} = 128 \text{ kg/m}$$

$$M_u = (W_u \times L_n^2) / 8$$

$$M_u = (128 \text{ kg/m} \times 3.42^2) / 8 = 187 \text{ kg-m equivalente a } 18,670 \text{ kg-cm}$$

Para la losa número dos se tiene:

$$L_n = 3.36 \text{ m}$$

$$W_u = (0.85 (1.4CM + 1.7CV) - CM) * 0.30$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \times 148.80 \text{ kg/m}^2 + 1.7 \times 200 \text{ kg/m}^2) - 148.80 \text{ kg/m}^2) * 0.30 \text{ m} = 95.182 \text{ kg/m}$$

$$M_u = (W_u \times L_n^2) / 8$$

$$M_u = (95 \text{ kg/m} \times 3.36^2) / 8 = 134. \text{ kg-m equivalente a } 13,432 \text{ kg-cm}$$

Para la losa número tres se tiene:

$$L_n = 3.41 \text{ m}$$

$$W_u = (0.85 (1.4CM + 1.7CV) - CM) * 0.30$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \times 148.80 \text{ kg/m}^2 + 1.7 \times 200 \text{ kg/m}^2) - 148.80 \text{ kg/m}^2) * 0.30 \text{ m} = 95 \text{ kg/m}$$

$$M_u = (W_u \times L_n^2) / 8$$

$$M_u = (95 \text{ kg/m} \times 3.41^2) / 8 = 138 \text{ kg-m equivalente a } 13,835 \text{ kg-cm}$$

Para la losa número cuatro se tiene:

$$L_n = 3.41 \text{ m}$$

$$W_u = (0.85 (1.4CM + 1.7CV) - CM) * 0.30$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \times 148.80 \text{ kg/m}^2 + 1.7 \times 210 \text{ kg/m}^2) - 148.80 \text{ kg/m}^2) * 0.30 \text{ m} = 100 \text{ kg/m}$$

$$M_u = (W_u \times L_n^2) / 8$$

$$M_u = (100 \text{ kg/m} \times 3.41^2) / 8 = 145 \text{ kg-m equivalente a } 14,465 \text{ kg-cm}$$

Para la losa número cinco se tiene:

$$L_n = 3.415 \text{ m}$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \text{ CM} + 1.7 \text{ CV}) - \text{CM}) * 0.30$$

$$W_u = (0.85 (1.4 \times 148.80 \text{ kg/m}^2 + 1.7 \times 200 \text{ kg/m}^2) - 148.80 \text{ kg/m}^2) * 0.30 \text{ m} = 95 \text{ kg/m}$$

$$M_u = (W_u \times L_n^2) / 8$$

$$M_u = (95 \text{ kg/m} \times 3.415^2) / 8 = 139 \text{ kg-m equivalente a } 13,875 \text{ kg-cm}$$

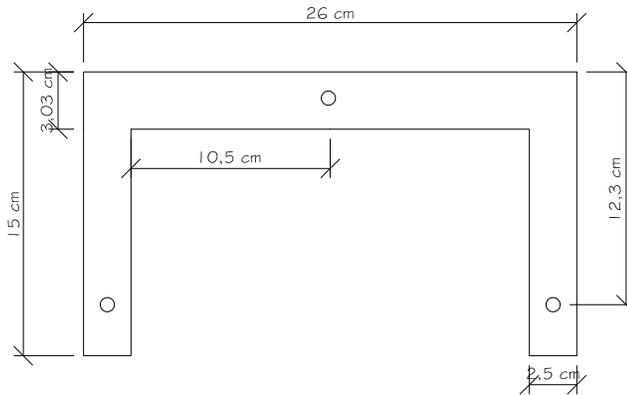
6.2 Cálculo del momento resistente de las losas con los materiales y dimensiones propuestas

Para el análisis estructural se utilizará una sección equivalente efectiva simplificada que represente como funcionará en la práctica como mínimo la real.

Cada uno de los dos nervios longitudinales que tiene la losa serán analizados como vigas de sección "L", tomando en cuenta que el patín que poseen las losas les da una rigidez adicional a la sección rectangular del nervio.

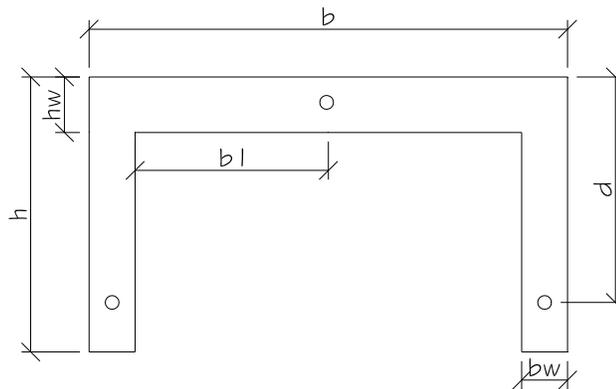
La sección simplificada queda como en la figura 6 presentada a continuación:

Figura 6. **Sección simplificada equivalente**



La nomenclatura grafica a usar se muestra en la figura 7:

Figura 7. **Nomenclatura gráfica de sección equivalente**



Donde: $b = b_1 + b_w$

b_1 no debe ser mayor que:

- $\frac{1}{2}$ la distancia libre entre nervios longitudinales de la losa
- 6 veces h_f

- 1/12 de la distancia libre entre apoyos de la losa

h_f es el espesor efectivo del patín

b es el ancho de la viga en sección "L"

b_1 es la dimensión efectiva del volado del patín

b_w es el ancho efectivo del nervio de la losa

d es el peralte de la viga

h es la altura total de la viga

Para el presente caso se tiene que h_f mide 30.03 cm, b_w mide 2.50 cm, d mide 12.3 cm, h mide 15 cm.

Encontrando b :

$$\mathbf{b = b_1 + b_w}$$

$$b_1 = 6 (3.03) = 20.68 \text{ cm}$$

$$b_1 = \frac{1}{2} (21) = 10.50 \text{ cm}$$

$$b_1 = \frac{1}{12} (342) = 28.50 \text{ cm}$$

Se toma $b_1 = 10.50$ cm pues es la menor de las dimensiones obtenidas.
Por consiguiente: $b = 10.50 + 2.50 = 13$ cm.

Encontrando $\bar{\rho}_b$:

Donde:

$$\bar{\rho}_b = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \cdot \frac{0.003 \beta_1}{0.003 + f_y/E_s}$$

β_1 tiene un valor de 0.85

f_y tiene un valor de 5,000 kg/cm²

f'_c tiene un valor de 231.31 kg/cm²

$$= \frac{0.85 (231.31)}{5,000} \cdot \frac{0.003 (0.85)}{0.003 + 5,000/2.1 \times 10^6} = 0.018635$$

Encontrando $\bar{\rho}_f$, que es el porcentaje de refuerzo para el área de tensión necesario para desarrollar la resistencia de compresión del volado del patín en "L"

$$\bar{\rho}_f = \frac{0.85 f'_c (b-b_w) h_f}{f_y (b_w)(d)} = \frac{0.85 (231.31) (13-2.50) (3.03)}{5,000 (2.50)(12.3)} = 0.040685$$

Encontrando ρ_b , que es la cuantía de acero en la cual se presenta una falla balanceada.

$$\rho_b = \frac{b_w}{b} \left(\bar{\rho}_b + \bar{\rho}_f \right) = \frac{2.50}{13} (0.018635 + 0.040685) = 0.011408$$

Criterio de sección sub reforzada en zonas sísmicas: $\rho_{\max} \leq 0.5 \rho_b$

$$\rho_{\max} \leq 0.5(0.011408) \quad \rho_{\max} \leq 0.005704$$

Encontrando ρ_{\min} según el ACI:

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{2f_y} \quad \text{Con } f'_c \text{ y } f_y \text{ en mega Pascales}$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{22.677451}}{2(490.19608)} = 0.004857$$

Tomando en cuenta que se proponen varillas de acero de alta resistencia; en el lado de tensión, varilla \varnothing 7.20 mm y del lado de compresión, varilla \varnothing 5.50 mm; ambas Grado 70 con un límite mínimo de fluencia de 5,000 kg/cm². Se tendrá un A_s de 0.407 cm².

$\rho_w > \rho_{\min}$ ρ_w es la cuantía de acero neta en el nervio longitudinal de la losa

$$\rho_w = \frac{A_s}{bd} \quad \rho_w = \frac{0.407}{2.50 (12.30)} = 0.013236$$

Se puede notar que se cumple con el requisito previo de $\rho_w > \rho_{\min}$

Revisando si la sección actúa como una viga "L" para soportar fuerza de compresión adicional proporcionada por su patín:

$$\bar{\omega} = \frac{A_s f_y}{b d} \quad \bar{\omega} = \frac{0.407 (5,000)}{13(12.30) (231.31)} = 0.05502012$$

$$c = \frac{1.18 \bar{\omega} d}{\beta_1} \quad c = \frac{1.18 (0.05502012)(12.30)}{0.85} = 0.9395 \text{ cms}$$

Como c es menor que h_f la viga puede analizarse como una del tipo rectangular utilizando solamente b , d y A_s .

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{\rho d f_y}{1.7f'_c} \right) \quad M_n = 0.407(5,000) \left(12.30 - \frac{0.002545(12.30)(5,000)}{1.7(231.31)} \right)$$

$$M_n = 24,220.502 \text{ kg-cm}$$

$M_u = \phi M_n = 0.9 (24,220.502) = 21,798. \text{ kg-cm}$ Esto por cada nervio, o sea que para la losa completa, su resistencia de diseño última es de 43,597 kg-cm

6.3 Cálculo de la resistencia al corte

La carga máxima que se aplicará a las losas será de 425.65 kg/m² si se escoge una distancia libre máxima entre apoyos de 3.42 m, se tendrá una fuerza cortante factorizada en los apoyos de la losa de $3.42 \times 127.69/2 = 218.35 \text{ kg}$.

Según el capítulo 11 “CORTE Y TORSIÓN”, del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 para elementos sometidos únicamente a corte y flexión el cortante que soporta el concreto está dado por :

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c} b_w d}{6}$$

Donde:

b_w = ancho del alma en mm.

D = Peralte efectivo en mm.

f_c = Máxima resistencia a compresión en M Pa.

V_c = fuerza cortante resistente del concreto en Newtons.

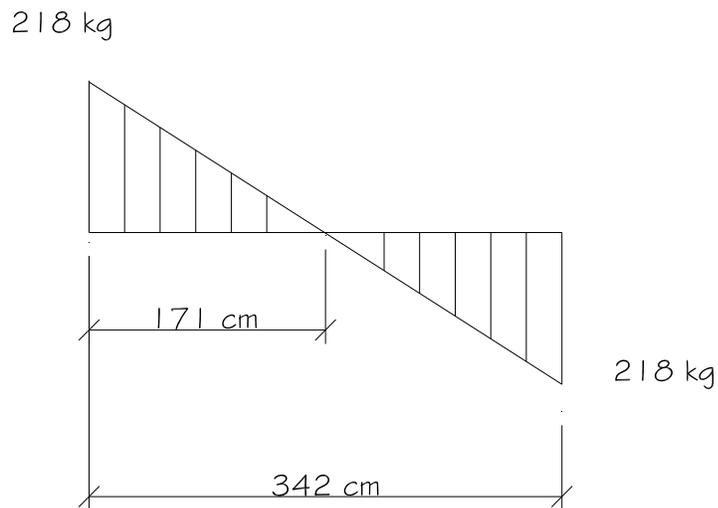
$$V_c = \frac{\sqrt{(22.67745) (25) (123)}}{6} = 2,440.568 \text{ N}$$

Cortante aplicado a losa por carga factorizada = 249 kgf por nervio.

Como la losa tiene dos nervios longitudinales, la fuerza cortante que soporta el doble, o sea: $248.8687 \times 2 = 498 \text{ kg}$.

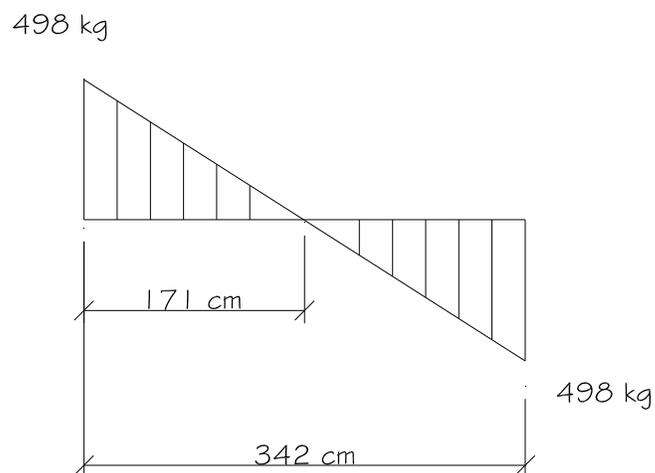
El cortante producido por cargas se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 8. Cortante inducido por cargas



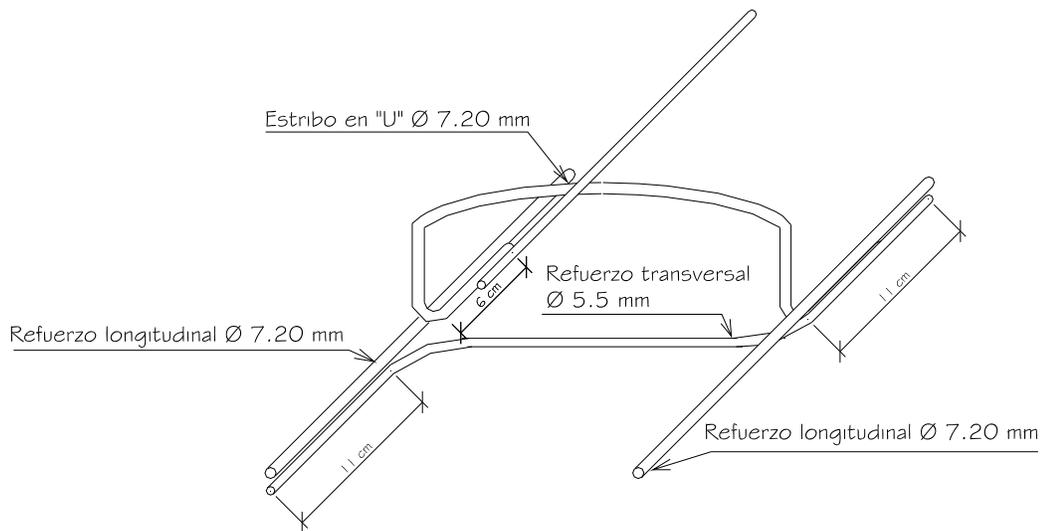
el cortante que resiste la losa se puede apreciar gráficamente en la figura 9:

Figura 9. Cortante que resiste la losa



Se aprecia entonces que en teoría solamente el concreto es capaz de soportar y por mucho toda la fuerza cortante, pero siendo las fallas por cortante repentinas y súbitas se instalarán en los rigidizantes transversales refuerzo de acero a cada 0.67 metros como estribos en "U" de diámetro 5.5 mm grado 70, según el detalle mostrado en la figura 10:

Figura 10. **Detalle de armado de losas**



7. RESULTADOS

7.1 Pruebas de flexión y porcentaje de recuperación

Los resultados de las pruebas de flexión para la primera serie de losas se pueden apreciar en las tablas de la VI a la IX.

Se presentan los resultados tabulados en las tablas X a XIV de los ensayos a flexión efectuados a la segunda serie de losas, con cargas vivas mayores de 200 kg/cm^2 para encontrar la máxima resistencia de las losas.

Tabla VI. **Resultados tabulados de losa 1, primera serie**

losa 1			
Longitud en m:	4.50	Luz libre (m):	4.275
L/2 en m:	2.138		
Altura de losa en cm:	15.00	Ancho de losa en cm:	56.00
carga viva a aplicar kg/m ²			250.00
mínima lectura de deformómetro:			0.01 mm
Fecha del ensayo:	30 de Octubre de 2006		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm
0	0.00	0.00	0.00
1	158	158	1.59
2	162	320	6.39
3	158	478	10.50
4	164	642	15.35
5	161	803	18.40
6	161	964	25.00

Nota: la deflexión fue tan grande que de debió quitar deformómetro, medir con metro, por lo que no se pudo tomar la deflexión en la sexta carga de forma más exacta

Fecha del ensayo: 31 de Octubre de 2006

Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado

descarga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm
0	0.00	964	Δ max= 28.00
1	160	804	25.25
2	161	643	23.81
3	158	485	21.26
4	162	323	18.45
5	158	165	15.44
6	165	0.00	14.23

Nota: se tomó la deflexión de 28 mm a través de un metro, pues se sobre pasó la capacidad del deformómetro.

Deflexión máxima permitida criterio $l_c^2/20,000h$	6.09
Δ max/4 en mm:	7.00
Deflexión máxima L/360	11.88

Fecha del ensayo: 1 de Noviembre de 2006

Proceso: medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa

Δ r máximo:	11.05
Recuperación:	60.54%

Tabla VII. Resultados tabulados de losa 2, primera serie

losa 2			
Longitud en m:	4.00	Luz libre (m):	3.50
L/2 en m:	1.75		
Altura de losa en cm:	15.00	Ancho de losa en cm:	56.00
carga viva a aplicar kg/m ²			250.00
mínima lectura de deformómetro:			0.01 mm.
Fecha del ensayo:	2 de Noviembre de 2006		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm
1	105	105	1.62
2	107	212	2.06
3	110	322	2.92
4	108	430	3.58
5	106	536	4.54
6	104	640	5.45
7	103	743	7.51
8	109	852	8.78
Fecha del ensayo: 3 de Noviembre de 2006			
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
descarga	masa en kg	masa en kg	Δ mm.
0	0.00	852	Δ max= 10.74
1	109	743	10.12
2	103	640	9.65
3	103	537	8.84
4	105	432	8.13
5	108	324	7.34
6	108	216	6.53
7	108	108	5.56
8	108	0	3.76
Deflexión máxima permitida criterio $l_r^2/20,000h$:			4.08
Δ max/4 en mm:			2.685
Deflexión máxima L/360			9.72
Fecha del ensayo:	4 de Noviembre de 2006		
Proceso:	medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa		
Δ r máximo:		3.33	
Recuperación		68.99%	

Tabla VIII. Resultados tabulados de losa 3, primera serie

losa 3			
Longitud en m	3.75	Luz libre (m):	3.50
L/2 en m:	1.75		
Altura de losa en cm:	15.00	Ancho de losa en cm:	26.00
carga viva a aplicar kg/m ²		245.00	
mínima lectura de deformómetro:	0.01 mm.		
Fecha del ensayo:	6 de Noviembre de 2006		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
1	108	108	1.22
2	105	213	2.80
3	104	317	4.90
4	108	425	7.58
Fecha del ensayo: 7 de Noviembre de 2006			
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
descarga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	425	Δ max= 10.70
1	133	292	9.41
2	84	208	6.96
3	105	103	6.22
4	103	0.00	4.44
Deflexión máxima permitida criterio $l_i^2/20,000h$:			4.08
Δ max/4 en mm:			2.675
Deflexión máxima L/360			9.72
Fecha del ensayo:	8 de Noviembre de 2006		
Proceso:	medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa		
Δ r máximo:		3.61	
Recuperación:		66.26%	

Tabla IX. **Resultados tabulados de losa 4, primera serie**

losa 4			
Longitud en m:	3.25	Luz libre (m):	3.00
L/2 en m:	1.50		
Altura de losa en cm:	15.00	Ancho de losa en cm:	26.00
carga viva a aplicar kg/m ²			550.00
mínima lectura de deformómetro: 0.01 mm.			
Fecha del ensayo:	16 de Noviembre de 2006		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
1	123	123	0.82
2	116	239	1.41
3	116	355	2.13
4	118	473	3.88
5	122	595	5.89
6	120	715	7.52
7	83	798	9.71
Fecha del ensayo:	17 de Noviembre de 2006		
Proceso:	descarga de cilindros de concreto de peso controlado		
Descarga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	798	Δ max= 10.90
1	83	715	10.43
2	118	597	9.54
3	124	473	8.52
4	120	353	7.49
5	117	236	6.56
6	118	118	5.31
7	118	0.00	4.20
Deflexión máxima permitida criterio $I_t^2/20,000h$:			3.00
Δ max/4 en mm:			2.725
Deflexión máxima L/360			8.33
Fecha del ensayo:	20 de Noviembre de 2006		
Proceso:	medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa		
Δ r máximo:		3.15	
Recuperación:		71.10%	

Tabla X. Resultados tabulados de losa 1, segunda serie

losa 1			
Longitud en m:	3.65	Luz libre (m):	3.42
L/2 en m:	1.71		
Altura de losa en cm:	15.00	Carga viva a aplicar kg/m ² :	275.00
mínima lectura de deformómetro: 0.01 mm.			
Fecha del ensayo:		20 de Junio de 2007	
Proceso: carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	0.00	0.00
1	103	103	1.00
2	158	261	2.38
3	103	364	2.86
4	101	465	5.17
Fecha del ensayo:		21 de Junio de 2007	
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	465	Δ max= 8.27
1	160	305	7.42
2	101	204	6.27
3	102	102	3.98
4	102	0.00	3.21
Deflexión máxima permitida criterio $l_t^2/20,000h$:			3.90
Δ max/4 en mm:			2.06
Deflexión máxima L/360			9.50
Fecha del ensayo:		22 de Junio de 2007	
Proceso: medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa			
Δ r máximo:		2.44	
Recuperación:		70.50%	

Tabla XI. **Resultados tabulados de losa 2, segunda serie**

losa 2			
Longitud en m:	3.65	Luz libre (m):	3.36
L/2 en m:	1.68		
Altura de losa en cm:	15.00	Carga viva a aplicar kg/m ² :	200.00
mínima lectura de deformómetro: 0.01 mm.			
Fecha del ensayo:	14 de Febrero de 2008		
Proceso: carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	0.00	0.00
1	92	92	1.99
2	89	181	4.86
3	93	274	6.35
4	76	350	7.56
Fecha del ensayo:	15 de Febrero de 2008		
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	350	Δ max= 9.19
1	75	275	8.69
2	91	184	7.61
3	94	90	5.76
4	90	0.00	2.26
Deflexión máxima permitida criterio $I_t^2/20,000h$:			3.76
Δ max/4 en mm:			4.595
Deflexión máxima L/360			9.33
Fecha del ensayo:	16 de Febrero de 2008		
Proceso: medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa			
Δ r máximo:	1.22		
Recuperación:	86.72%		

Tabla XII. **Resultados tabulados de losa 3, segunda serie**

losa 3			
Longitud:	3.65	Luz libre (m):	3.41
L/2 en m.:	1.705		
Altura de losa en cm:	15.00	Carga viva a aplicar kg/m ² :	200.00
Mínima lectura de deformómetro: 0.01 mm.			
Fecha del ensayo:	14 de Febrero de 2008		
Proceso: carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	0.00	0.00
1	89	89	2.53
2	90	179	5.7
3	92	271	8.89
4	76	347	10.09
Fecha del ensayo: 15 de Febrero de 2008			
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	347	Δ max= 21.09
1	76	271	11.54
2	91	180	10.31
3	90	90	7.31
4	90	0.00	3.79
Deflexión máxima permitida criterio $l_t^2/20,000h$:			3.88
Δ max/4 en mm:			5.273
Deflexión máxima L/360			9.47
Fecha del ensayo: 16 de Febrero de 2008			
Proceso: medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa			
Δ r máximo:		2.18	
Recuperación:		89.66%	

Tabla XIII. **Resultados tabulados de losa 4, segunda serie**

losa 4			
Longitud:	3.65	Luz libre (m):	3.41
L/2 en m.:	1.705		
Altura de losa en cm:	15.00	Carga viva a aplicar kg/m ² :	210.00
		mínima lectura de deformómetro:	0.01 mm.
Fecha del ensayo:	20 de Febrero de 2008		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	0.00	0.00
1	91	91	1.82
2	90	181	3.04
3	102	283	5.71
4	78	361	8.03
Fecha del ensayo: 21 de Febrero de 2008			
Proceso: descarga de cilindros de concreto de peso controlado			
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	361	Δ max= 9.31
1	79	282	7.78
2	88	194	6.34
3	88	106	4.38
4	106	0.00	1.7
Deflexión máxima permitida criterio $I_t^2/20,000h$:			
			3.88
Δ max/4 en mm:			
			2.328
Deflexión máxima L/360			
			9.47
Fecha del ensayo: 22 de Febrero de 2008			
Proceso: medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa			
Δ r máximo:			0.73
Recuperación:			92.16%

Tabla XIV. **Resultados tabulados de losa 5, segunda serie**

losa 5			
Longitud:	3.65	Luz libre (m):	3.415
L/2 en m.:	1.708		
Altura de losa en cm:	15.00	carga viva a aplicar kg/m ² :	200.00
Mínima lectura de deformómetro:	0.01 mm.		
Fecha del ensayo:	12 de Marzo de 2008		
Proceso:	carga simulada con cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	0.00	0.00
1	90	90	1.38
2	91	181	1.94
3	90	270	3.1
4	75	345	6.5
Fecha del ensayo:	13 de Marzo de 2008		
Proceso:	descarga de cilindros de concreto de peso controlado		
Carga	masa en kg	masa acumulada	Δ mm.
0	0.00	345	Δ max= 9.78
1	77	268	8.95
2	92	176	8.24
3	87	89	7.13
4	89	0	5.72
Deflexión máxima permitida criterio $l_t^2/20,000h$:			3.89
Δ max/4 en mm:			2.445
Deflexión máxima L/360			9.49
Fecha del ensayo:	14 de Marzo de 2008		
Proceso:	medición de deflexión a las 24 horas de descargada la losa		
	Δ r máximo:	4.03	
	Recuperación:	58.79%	

7.2 Pruebas de compresión

La máxima resistencia a la compresión del concreto se obtuvo ensayando los cilindros a los 28 días, teniendo un intervalo de tolerancia de 20 horas .

Se obtuvieron las medidas presentadas en la tabla XV de los especímenes cilíndricos de concreto:

Tabla XV. **Características físicas de especímenes de concreto**

	Ø ₁ mm	Ø ₂ mm	Ø _{med} aproximado a 0.25 mm	H mm	Área cm ²	Peso en kg	Pu lbs	Pu kg
Cilindro 1	108.5	108.4	108.50	199.5	92.459	3.784	42,500	19,277.68 kg
Cilindro 2	108.9	109.0	109.00	194.7	93.313	3.783	46,000	20,865.25 kg
Cilindro 3	107.3	107.4	107.25	195.7	90.341	3.787	53,000	24,040.40 kg
Cilindro 4	108.7	108.7	108.75	190.0	92.886	3.705	46,400	21,046.69 kg

Al ser ensayados a compresión se tabularon los siguientes datos presentados en la tabla XVI con cuyos datos se obtuvo una desviación estándar de 346 PSI y un coeficiente de variación de Pearson de 0.105

Tabla XVI. **Resultados de esfuerzo a compresión**

	f'c real kg/cm ²	f'c en PSI A los 10 PSI más cercanos
Cilindro 1	208.5	2,970
Cilindro 2	223.6	3,180
Cilindro 3	266.1	3,780
Cilindro 4	226.6	3,220

Resistencia última promedio aproximada a los 10 PSI más cercanos:
3,290 PSI o su equivalente de **230 kg/cm²**

7.3 Pruebas de absorción

A través de la tabla XVII se presentan los datos obtenidos del ensayo de absorción del concreto. No se efectúa ensayo de absorción al poli estireno expandido, pues este no es absorbente.

Tabla XVII. Resultados de prueba de absorción

ENSAYO DE ABSORCIÓN CONCRETO		
Muestra	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)
1	389.3	353.1
2	405.8	370.2
3	484.6	438.6
4	252.7	227.3
5	345.9	312.0
Promedio	375.7	340.2

El porcentaje de absorción del bloque se determina:

$$\begin{aligned}\% \text{ Absorción} &= 100 \times (\text{Peso Seco} - \text{Peso húmedo}) / \text{Peso seco} \\ &= 100 \times (375.7 - 340.2) / 340.2 \\ &= \mathbf{10.43\%}\end{aligned}$$

7.4 Discusión de los resultados

a) Para la primera serie de losas ensayadas se observa lo siguiente:

- La losa número uno tuvo graves agrietamientos sufridos que provocaron una pérdida de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo longitudinal, debido al gran rango de deformación del acero grado 40 no hay compatibilidad de las deformaciones para la carga aplicada. Presentó un porcentaje de recuperación de 60.54% y una deflexión máxima mayor a L/360
- La losa número dos presentó grandes agrietamientos, un porcentaje de recuperación del 68.99% y una deflexión mayor a L/360.
- Las losas número tres y cuatro presentaron más agrietamientos que las anteriores; teniendo la losa 3 un porcentaje de recuperación del 66.26% y una deflexión máxima mayor a L/360. Mientras que la número 4 tuvo un porcentaje de recuperación del 71.10% y una deflexión máxima mayor a L/360

b) Para la segunda serie de losas ensayadas se observa lo siguiente:

- La losa número uno se ensayó con la máxima carga viva aplicada de 275 kg/cm², su porcentaje de recuperación a las veinticuatro horas no llegó al mínimo necesario, pero la losa seguía recuperándose, no se presentaron grietas, pero la norma solo indica esperar las 24 hrs. No se llegó a tener deflexiones mayores a L/360
- La losa número dos tuvo un porcentaje de recuperación del 86.72% y una deflexión máxima menor a L/360
- La losa número tres tuvo un porcentaje de recuperación de 89.66% y una deflexión máxima mucho mayor a L/360 lo que demuestra su amplio rango elástico.
- La losa número cuatro tuvo un porcentaje de recuperación de 92.16% y una deflexión máxima menor a L/360.
- La losa número cinco que fue dañada en la parte central durante su transporte, su porcentaje de recuperación fue del 58.79% y una deflexión máxima menor a L/360.

CONCLUSIONES

Para la primera serie de losas ensayadas:

1. Losas presentaron fallas por flexión que se apreciaron por agrietamientos en el tercio medio de la losa que se dirigían hacia su eje neutro. Las grietas presentadas fueron de gran tamaño debido a dos causas principales: El poco recubrimiento que ofrecía el concreto al acero y la gran ductilidad del acero al ser grado 40 para un elemento prefabricado.
2. La losa número dos no cumple con el criterio de deflexión máxima establecido en el capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005, tuvo serios agrietamientos presentados. Se tomó su porcentaje de recuperación a las 24 horas de descargadas, demostrándose que los agrietamientos además de ser una seria amenaza a la integridad del acero de refuerzo, no permiten recuperación alguna del elemento, ya que queda destruida gran parte de la adherencia acero-concreto.
3. Las losas número uno y número dos que eran dobles, no fueron eficientes soportando cargas, ya que solo tenían tres almas longitudinales y todas tenían en mismo ancho, por lo que el punto más débil siempre era el alma central. Por lo que se toma la opción de hacerlas con solamente dos almas y de la mitad de ancho de las losas dobles por facilidad de transporte y colocación, ya que también existe la opción de hacer losas dobles con el alma central más ancha que las dos laterales, pero es más difícil manipular un elemento de este tipo.

4. Las losas número tres y cuatro no cumplieron con el criterio de deflexión máxima establecido en el capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005.
5. En todos los casos anteriores se destruyó la adherencia entre el refuerzo y el concreto, llevando a las losas a tener un comportamiento, no como un elemento compuesto trabajando como una unidad sino que el acero de refuerzo soportó todas las cargas.

Para la segunda serie de losas ensayadas:

1. Las losas, del rango de cargas máximo equivalente a una carga viva de 210 kg/m² se comportaron bien a flexión. No se observaron agrietamientos y cumplen lo estipulado en el capítulo 20 del código de la construcción para hormigón estructural del Instituto Americano del Concreto ACI 318-2005 por lo que son aptas para este tipo de cargas.
2. En losa número uno, ensayada con una carga viva de 275 kg/m² se observaron cinco pequeñas grietas que no representan amenaza estructural; pero no se alcanzó el porcentaje de recuperación adecuado. Aunque la losa siguió recuperándose, solo se tomó en cuenta la deflexión a las 24 horas después de descargada. Si se diera una sobre carga en las losas hasta el punto de los 275 kg/m² no habría riesgo alguno de colapso en las losas.
3. Se sobrecargó intencionalmente una losa hasta llevarla a la falla y se pudo observar que en casos extremos el punto débil de estas está en los rigidizantes transversales, donde se presentó una concentración de agrietamientos debido a la concentración de acero en estos puntos.

4. Con el ensayo a la losa número cinco se demuestra que la mala manipulación durante el transporte puede disminuir o anular la capacidad de carga de las losas.

5. Las losas por su capacidad de flexión y recuperación trabajarán como un diafragma flexible.

RECOMENDACIONES

1. Debe tenerse mucho cuidado en la manipulación de las losas durante su transporte
2. En caso de diseñarse losas de este tipo para cargas vivas mayores a las aplicadas se deberá considerar modificar el detalle de armado de estribos en los rigidizantes.
3. Utilizar concreto celular y evaluar las diferencias con este sistema.
4. El peralte de las losas no debe ser menor al ensayado.
5. Las losas soportan una carga viva de diseño de 210 kg/m^2 .
6. No utilizar losas de sección doble, pues proporcionan peso elevado y menor espacio en el nervio central para la colocación de acero de refuerzo, que por razones de recubrimiento y adherencia no puede ser sustituido por barras de diámetros mayores.
7. En ensayos a flexión usar un valor de 0.85 para el factor de reducción de resistencia ϕ , ya que se aprecia una amplia dispersión de los resultados experimentales entre las losas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 318-05 American Concrete Institute. Reglamento de las construcciones de concreto reforzado. Capítulos 7, 8, 9 16 y 20.
2. Bazán, Enrique. Meli ,Roberto. Diseño sísmico de edificios. (México, Editorial LIMUSA,1998) p 15,29, 33-46.
3. Guzmán Valdez, María Mercedes. Ensayos a flexión de losas de concreto celular. (Trabajo de Graduación de ingeniera civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1999) p 9-16.
4. Nawy, Edward G. Concreto Reforzado: Un enfoque Básico. (México, Prestice-Hall Hispanoamericana, 1988)
5. Askeland, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los materiales. (Tercera edición, México, Internacional Thomsom Editores, 1998)

ANEXO

Figura 11. Gráficos de carga y descarga losas uno y dos primera serie



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005102



Mario Rodolfo Corzo Avila
Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
Jefe del Área de Prefabricados



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

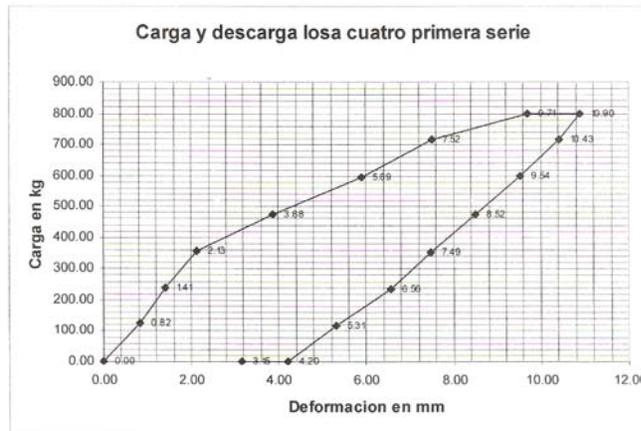
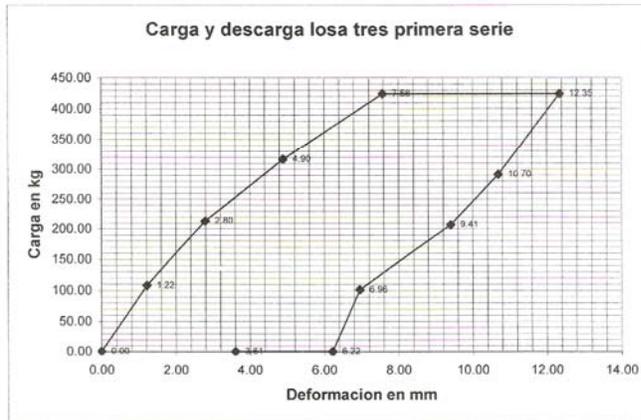
Figura 12. Gráficos de carga y descarga losas tres y cuatro primera serie



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005101



Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Jefe del Área de Prefabricados



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

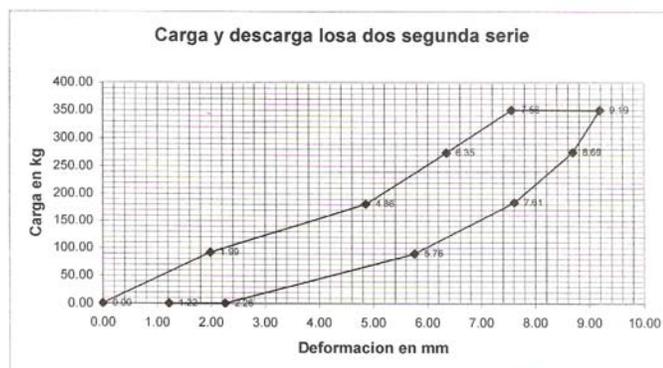
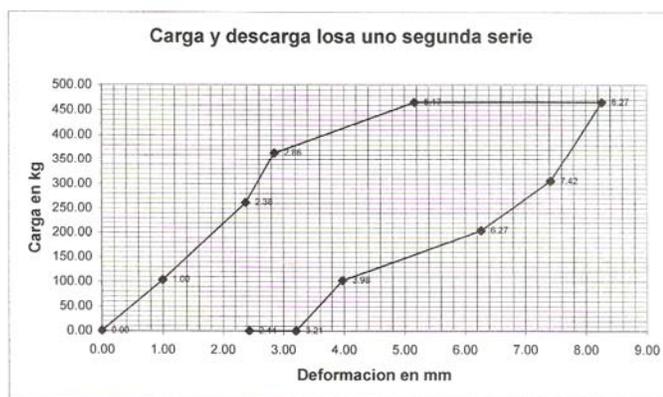
Figura 13. Gráficos de carga y descarga losas uno y dos segunda serie



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005100



Mario Rodolfo Córzo Ávila
Ing. Mario Rodolfo Córzo Ávila
Jefe del Área de Prefabricados



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 14. Gráficos de carga y descarga losas tres y cuatro segunda serie

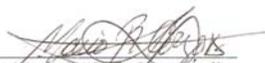


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005099




Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
Jefe del Área de Prefabricados



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 15. Gráficos de carga y descarga losa cinco segunda serie



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005098




Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Jefe del Área de Prefabricados



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 16. Fotografías de ensayos a losas

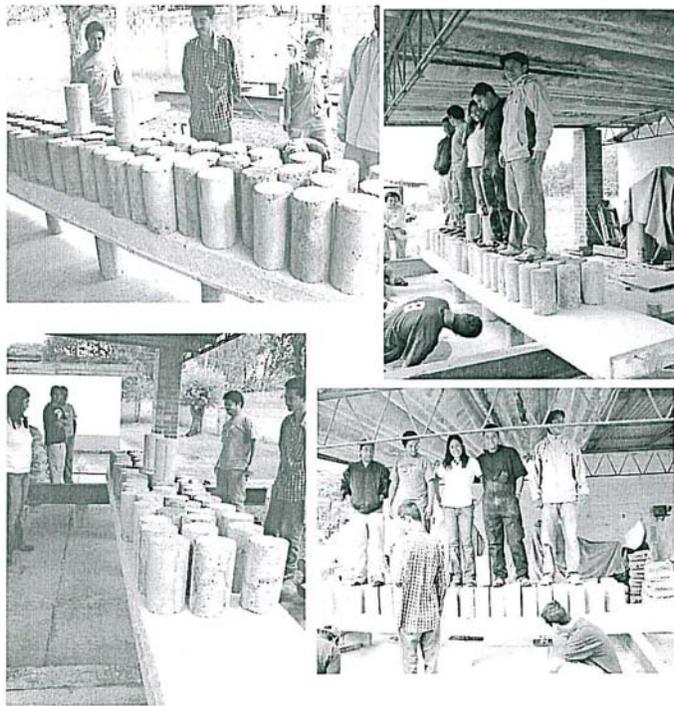


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005087

FOTOGRAFÍAS DE ENSAYOS A LOSAS



Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Jefe del Área de Prefabricados

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://ciil.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 17. Fotografías de ensayos a losas.

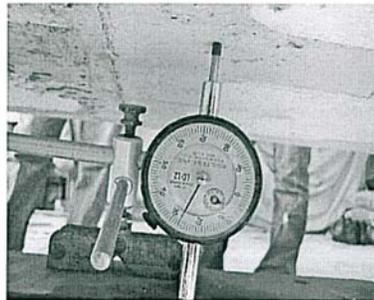


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 005088

FOTOGRAFÍAS DE ENSAYOS A LOSAS



Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Jefe del Área de Prefabricados

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Área de Prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

