



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**LOSA MACISA CON SISTEMA DE PLACAS PREFABRICADAS EN
CONCRETO LIVIANO**

MARIO RENÉ HERNÁNDEZ PANIAGUA

Asesorado por: Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, junio de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LOSA MACISA CON SISTEMA DE PLACAS PREFABRICADAS EN
CONCRETO LIVIANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO RENÉ HERNÁNDEZ PANIAGUA

ASESORADO POR: ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR:	Ing. Pedro Saravia
EXAMINADOR:	Ing. Juan Miguel Rubio
EXAMINADOR:	Ing. Ricardo Ibarra
SECRETARIO:	Ing. Efraín Boburg Castellanos

ACTO QUE DEDICO

A Dios

A mis padres: Juan F. Hernández G. Q. P. D.
 Marina Paniagua de Hernández Q. P. D.

A mis hermanos: Luis Francisco
 Juan Carlos
 Jorge Leonel
 Alba Ileana

A mi esposa: Ana Leonor Estrada de Hernández

A mis hijos: José Miguel
 Astrid Magaly
 Ana Gabriela

A mis compañeros y amigos: José Ruiz
 Jorge Carranza
 Carlos Ocaña

A la Facultad de Ingeniería

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:

LOSA MACISA CON SISTEMA DE PLACAS PREFABRICADAS EN CONCRETO LIVIANO

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Ingeniería Civil, en febrero de 1995 y revalidado en mayo de 2003.

Mario René Hernández Paniagua.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IV
GLOSARIO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	XI
1. TEORÍA DEL CONCRETO LIVIANO	
1.1 Reseña histórica.....	1
1.2 Mezclas de concreto liviano.....	2
1.3 Esfuerzo último.....	3
2. PRESENTACIÓN Y CÁLCULO NUMÉRICO DEL SISTEMA	
2.1 Descripción del sistema.....	5
2.2 Materiales.....	6
2.3 Especificaciones.....	7
2.4 Cargas de diseño.....	7
2.5 Determinación del acero de refuerzo.....	8
2.5.1 Acero de refuerzo positivo.....	8
2.5.2 Acero de refuerzo negativo.....	10
2.6 Esfuerzo cortante.....	11
2.6.1 Cortante directo.....	11
2.6.2 Corte de fricción.....	13

2.7 Cálculo de deflexiones.....	14
3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PLACAS LIVIANAS	
3.1 Materiales.....	17
3.2 Fabricación de moldes.....	17
3.3 Izajes.....	18
3.4 Transporte.....	19
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
4.1 Preparación del concreto liviano.....	21
4.2 Ensayo del sistema.....	21
5. MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y COMPARACIÓN TEÓRICA DE RESULTADOS	
5.1 Ensayo num. 1 (Semiempotrado en los extremos).....	23
5.2 Ensayo num. 2 (Empotrado en los extremos).....	27
5.3 Ensayo num. 3 (Articulado en los extremos).....	31
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Vista de placa prefabricada	5
2. Vista de losa terminada.....	6
3. Vista de armado.....	18
4. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 1.....	36
5. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 2.....	38
6. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 3.....	39
7. Resistencia de cilindros de concreto.....	55
8. Barras de acero de refuerzo para concreto.....	56
9. Barras de acero de refuerzo para concreto.....	57
10. Barras de acero de refuerzo para concreto.....	58

TABLAS

I. Cantidad de acero para elementos simplemente apoyados.....	9
II. Corte actuante según la luz libre entre apoyos.....	12
III. Carga última según la luz libre entre apoyos.....	14
IV. Transporte de placas en camión según su longitud.....	19
V. Carga, deflexión y hora para ensayo num. 1 (día 1).....	23
VI. Carga, deflexión y hora para ensayo num. 1 (día 2).....	24
VII. Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 1).....	27
VIII. Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 2).....	28
IX. Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 3).....	28

X. Carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 1).....	32
XI. Carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 2).....	32
XII. Carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 3).....	32
XIII. Carga vrs. deflexión para ensayo num. 1.....	36
XIV. Carga vrs. deflexión para ensayo num. 2.....	37
XV. Carga vrs. deflexión para ensayo num. 3.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS

- b** Ancho efectivo del patín de compresión de un elemento estructural.
- A_o** Área de acero
- b** ancho de la cara en compresión del elemento
- E_c** Módulo de elasticidad del concreto (kg. /cm²)
- d** Distancia de la fuerza externa de compresión hasta el centroide del refuerzo de tensión (cm.)
- f_c** Resistencia a la compresión del concreto a 28 días (kg. /cm²).
- M** Momento de diseño
- P. U.** Peso unitario del concreto kg. /m³
- V** Fuerza cortante
- v_c** Esfuerzo cortante permisible soportado por el concreto (kg. /cm²)

- Av** Área del refuerzo por cortante perpendicular al refuerzo de tensión por flexión.
- ?** Deflexión lateral de primer orden calculada elásticamente debido a la fuerza total factorizada que actúa en un entrepiso, en la parte superior del piso relativa a la parte inferior del piso.
- n** Relación modular de elasticidad E_s / E_c
- I_{ag}** Momento de inercia de una sección transformada.
- F** Factor de reducción de resistencia y diámetro en mm. de la varilla de refuerzo.

GLOSARIO

Agregados livianos

Arena pómez, principalmente como base de este estudio.

Concreto

Es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava (u otro agregado) y agua.

Curado de concreto

Es el proceso de control de las condiciones de humedad y temperatura bajo las cuales se mantenga la mezcla desde el momento cuando se coloca en la formaleta hasta que se encuentra totalmente endurecida.

Concreto liviano

Concreto formado por arena pómez, arena de río, cemento y agua con densidad menor a 1800 kg. /m³.

Resistencia máxima

Es la carga máxima que la estructura o elemento puede soportar.

Semi-prefabricado

Sistema que utiliza materiales prefabricados y una fundición final en obra.

Joist

Armadura principal de acero de forma tridimensional, alma principal de las placas prefabricadas.

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad hacer un estudio de un sistema semi-prefabricado en concreto armado liviano para losas en una dirección, como una alternativa adicional de los sistemas existentes, usados en Guatemala.

Los bancos de arena blanca en el valle de la ciudad son abundantes y debido a ello, producir concreto liviano es relativamente fácil. Existen trabajos donde se proporcionan mezclas de concreto liviano, para determinar resistencias adecuadas en la obtención de valores requeridos como mínimo para la producción de concreto liviano.

Nuestro sistema se encarga de hacer ensayos en placas de concreto liviano prefabricado con determinado refuerzo previo, para luces diferentes, como fase preliminar al sistema y que en conjunto con una fundición hecha en el lugar, del mismo tipo de concreto, nos da como resultado nuestro producto final.

Los ensayos realizados en este estudio son satisfactorios hasta cierto límite debido a la deflexión del sistema cuando se somete a cargas físicas.

Las conclusiones y recomendaciones obtenidas en este estudio, así como la determinación del refuerzo previo de las placas tienen un parámetro de aproximación a los resultados prácticos bastante aceptable, que pueden ser modificados siempre y cuando se aproximen a las pruebas de carga que se les apliquen al sistema, pero en general, estos valores no tendrán mayor variación.

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer una losa macisa con sistema de placas prefabricadas en concreto liviano.

ESPECÍFICOS

1. Determinar un modelo de sistema prefabricado, para analizar el comportamiento del mismo al ser sometido a pruebas de carga y descarga.
2. Establecer una base para la teoría del concreto armado liviano para el sistema de losa.
3. Comparar los cálculos teóricos a los resultados experimentales de los datos obtenidos de las pruebas de carga.
4. Determinar las ventajas y desventajas del sistema prefabricado en estudio.
5. Comparar la influencia de la carga muerta en el diseño de elementos de apoyo del sistema.

6. Determinar experimentalmente las propiedades básicas como peso unitario, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión del concreto liviano.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, los sistemas prefabricados en concreto armado que se producen e instalan para techos y entrepisos son diseñados con concretos de una resistencia a la compresión mínima de 210 kg. / cm^2 , cuando se consideran sistemas no pretensados. Los sistemas pretensados requieren concretos de una resistencia mayor debido a los esfuerzos internos que se generan por el estiramiento de los cordones que atraviesan los elementos prefabricados, cuando se trata de sistemas nervurados en una dirección, éstos pueden ser simplemente apoyados o bien pretensados; generalmente, estos sistemas son los denominados de vigueta y bovedilla.

En este trabajo se tratará de ampliar la información de este concepto como solución de un nuevo sistema prefabricado para techos y entrepisos por ser utilizado en Guatemala, por la abundancia de la arena pómez en el valle de la ciudad.

Se utilizará la información obtenida en otros estudios realizados de concreto liviano, entre los cuales están los realizados por el Ing. Bernardo Morales, Ing. Aníbal Rodas e Ing. Julio García Ovalle.

1. TEORÍA DEL CONCRETO LIVIANO

1.1 Reseña histórica

En 1822 los alemanes fueron los primeros que utilizaron escorias para producir concreto liviano. En 1890 en E. E. U. U. se utilizaron las cenizas de carbón de altos hornos para reducir el peso del concreto. En Suecia y Francia (no especifica el año) se han desarrollado concretos celulares con diferentes procedimientos.

En Guatemala, se han hecho estudios del concreto liviano a nivel de tesis Mezclas de concreto liviano, Estudio del verdadero esfuerzo último, etc. También a nivel de empresas se hacen materiales en concreto liviano para disminuir el peso de los elementos cuando son prefabricados y se ha llegado a formular concretos livianos envasados para diferentes usos en la construcción.

Los componentes del concreto liviano son, generalmente, perlitas vermiculitas y arcillas expandidas. En la actualidad se le ha puesto más atención al concreto normal que al concreto liviano y se han utilizado aceros mejores y de alta calidad y resistencia, agregados mejor seleccionados y técnicas en la preparación del concreto, colación y curados más estrictos y una mejor supervisión.

El proceso de fabricación del concreto liviano es como el concreto normal, pero utilizando agregados livianos, como pómez, purecita, vidrio vesicular, perlitas, escorias volcánicas, diatomitas, versiculitas, arcillas, escoria expandida, cenizas volantes de carbón, fibras vegetales y/o aserrín.

Los factores a considerar en el estudio del concreto liviano son:

- a) Bajo peso con relación al peso de un concreto normal
- b) Aumento de rendimiento por manipuleo debido al bajo peso
- c) Ahorro de acero estructural
- d) Cimentaciones de menor tamaño
- e) Aislamiento térmico y sonoro

1.2 Mezclas de concreto liviano

Las características o elementos básicos para que un concreto sea liviano son:

- a) Cemento Pórtland
- b) Agua
- c) Agregados livianos
- d) Agente gasificador
- e) Densidad menor de 1500-1800 kg. /m³ (ACI 318-94)
- f) Resistencia a la compresión mínima de 100 kg. /cm²

El concreto liviano de nuestro estudio esta formado principalmente por arena pómez, arena de río, cemento y agua, además de esto se utiliza polvo de aluminio con hidróxido de sodio que libera el hidrógeno y de hipoclorito de calcio y peroxido de hidrógeno que libera el oxígeno.

1.3 Esfuerzo último

El ingeniero Julio García Ovalle en su trabajo de investigación hizo un estudio para determinar el verdadero esfuerzo último debido a la compresión, en el cual designa la resistencia máxima que el concreto es capaz de desarrollar en un tiempo largo bajo carga, sin llegar a la falla. Cuando el concreto es sometido a cargas permanentes, falla a una carga menor que la que resiste en una carga de corta duración.

En este trabajo se concluye que no se pueden fundamentar, una proposición de fórmulas para diseño de concreto liviano a carga última, pero se asume como esfuerzo máximo, basado en la distribución rectangular equivalente de esfuerzos, propuesta por Whitney, un esfuerzo máximo de $0.75 f'c$ para el concreto liviano de pómez del valle de la ciudad de Guatemala.

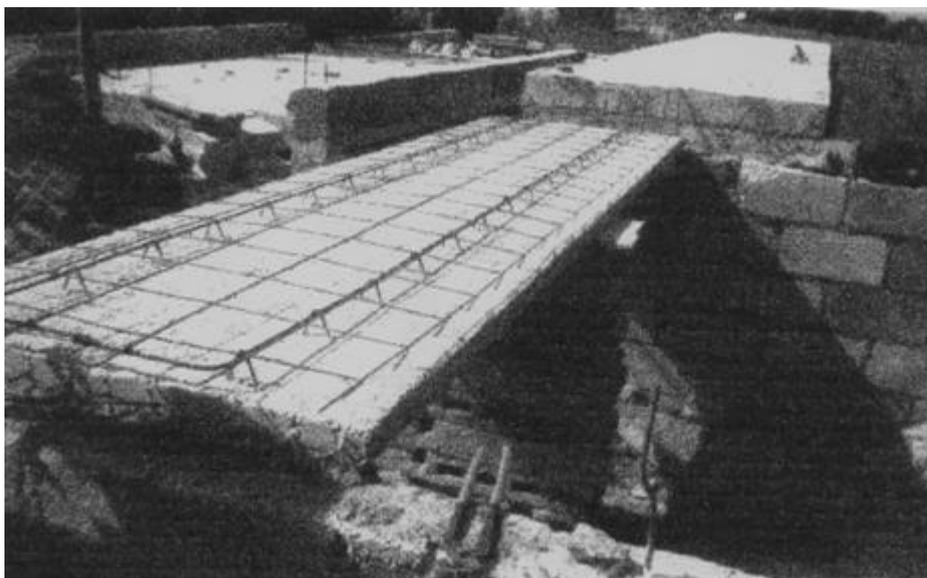
En este trabajo se utilizará este valor para determinar las áreas de acero de los elementos prefabricados para las distintas cargas a ensayar y se hará una comparación de resultados mas adelante para ver las diferencias posibles en cuanto a los datos teóricos y prácticos que determine el estudio.

2. PRESENTACIÓN Y CÁLCULO NUMÉRICO DEL SISTEMA

2.1 Descripción del sistema

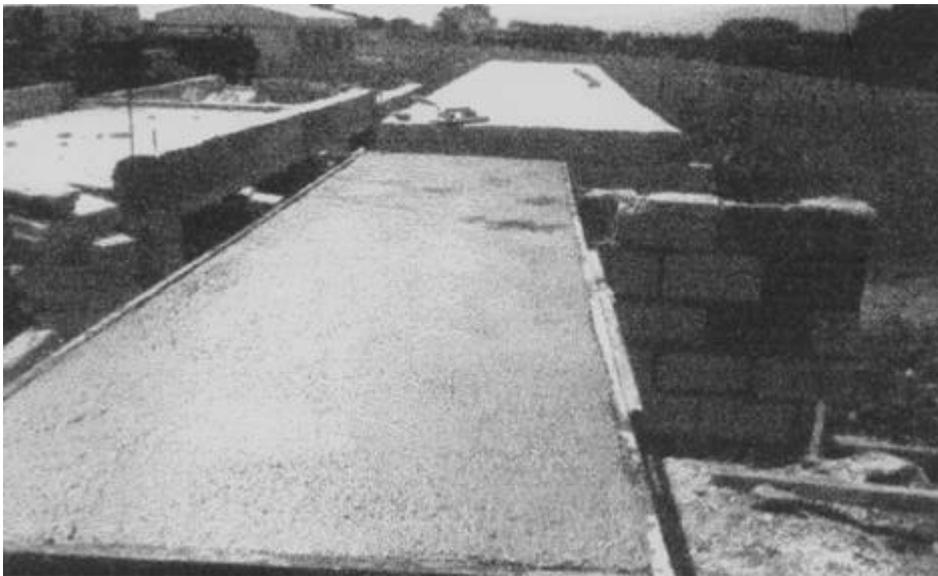
El sistema de nuestro estudio está formado por placas de concreto liviano de $0.40 \times 0.05 \times L$, donde L = longitud de elemento prefabricado (luz a cubrir), con áreas de acero longitudinales y joist al centro de las placas, calculadas para diferentes luces de diseño, ver figura num.1 .

Figura 1. Vista de placa prefabricada



Las placas anteriormente mencionadas se unen una a la par de la otra, más una fundición de concreto de la misma naturaleza de 5 cm. sobre las placas y malla electrosoldada por temperatura, forman el sistema de nuestro estudio, ver figura num. 2.

Figura 2. **Vista de losa terminada**



Para la fundición del sistema deben tomarse las siguientes consideraciones:

- a) El paraleado deberá ser menor o igual a 1.50 m.
- b) Se considera un refuerzo por temperatura para acero de alta resistencia de $A_s = 0.001512 \text{ bt}$ (ACI – 7.12 inciso c)
- c) El acero utilizado es de alta resistencia.
- d) El concreto en la capa de compresión es de igual naturaleza que el concreto de la placa prefabricada.
- e) En los extremos, la placa prefabricada tiene puntas que van ancladas a una solera de corona.

2.2 Materiales

- a) Acero de refuerzo grado 70 (alta resistencia).
- b) Concreto envasado, formado de arena pómez, arena de río y cemento que al agregarle agua produce el concreto liviano de nuestro estudio.
- c) Malla electrosoldada.

2.3 Especificaciones

- a) Esfuerzo nominal del concreto $f'c = 160 \text{ kg. /cm}^2$. Determinado experimentalmente, ver anexos.
- b) Esfuerzo nominal del acero $fy = 5000 \text{ kg. /cm}^2$. Determinado experimentalmente, ver anexos.
- c) Peso del concreto P. U. = 1600 kg. /m^3 . Determinado a nivel de laboratorio.
- d) Módulo de elasticidad del concreto (ACI 318-94 $E_c = w_c^{1.5} \cdot 0.14 \cdot f'c$)

2.4 Cargas de diseño

- a) **Carga muerta:** esta dividida en dos. La carga muerta por el peso propio será siempre de 160 kg. /m^2 , puesto que en total el sistema tiene 10 cm. de espesor en concreto liviano. La carga muerta por acabados en el caso de entresijos será de 120 kg. /m^2 refiriéndose esto a el piso y el mezlón que los une, mientras que para techos podrá considerarse de unos 30 kg. /m^2 , refiriéndose únicamente al acabado final sobre la losa, ya que en la parte inferior el acabado del prefabricado será suficiente para darle talle fina a la losa.

- b) **Carga viva:** generalmente para entresijos se considera una carga viva (carga de ocupación) de 200 kg. /m², cuando son de uso de habitación y de 100 kg. /m² para techos o áticos sin acceso.
- c) Debido a la naturaleza del material en estudio, únicamente se recomienda para cargas livianas y luces no mayores de 4.00 m. Puesto que la deflexión en el concreto liviano es crítica para cargas y luces mayores de las mencionadas con anterioridad, como se podrá observar posteriormente.

2.5 Determinación del acero de refuerzo

2.5.1 Acero de refuerzo positivo

- a) Con las cargas anteriormente descritas se puede calcular el acero de refuerzo del sistema, de la siguiente manera:

Ejemplo 1

Luz de diseño = 3.00 m.

CV = 200 kg. /m²

CM = 160 kg. /m²

CA = 130 kg. /m²

f'c = 160 kg. /cm² (esfuerzo nominal del concreto)

fy = 5000 kg. /cm² (esfuerzo nominal del acero)

b = 100 cm.

d = 7.5 cm.

Integrando las cargas por el método de esfuerzos últimos:

$$Wt = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$Wt = 1.4 (130+160) + 1.7 (200)$$

$$Wt = 746 \text{ kg. /m}^2$$

La carga distribuida por metro será de 746 kg. /m.

El momento positivo para elementos simplemente apoyados $M+ = w \times l^2 / 8$

$$As = 1.06 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

De acuerdo con la sección 8.3.3 del código de la ACI 318-94 del reglamento se pueden considerar los siguientes valores para momentos positivos:

Claros extremos:

El extremo discontinuo no esta empotrado _____ $w \times L^2 / 11$

El extremo discontinuo es monolítico con el apoyo _____ $w \times L^2 / 14$

Claros interiores: _____ $w \times L^2 / 16$

A continuación se elabora la siguiente tabla de áreas de acero a utilizar para diferentes cargas de diseño y luces a cubrir, para elementos simplemente apoyados:

Tabla I. **Cantidad de acero para elementos simplemente apoyados**

CV = 200 kg. /m ²		CV = 100 kg. /m ²	
Luz (m.)	As (cm ² /placa)	Luz (m.)	As (cm ² /placa)
2.00	0.45	2.00	0.35
2.25	0.58	2.25	0.44
2.50	0.72	2.50	0.55
2.75	0.88	2.75	0.67
3.00	1.06	3.00	0.81
3.25	1.27	3.25	0.96
3.50	1.49	3.50	1.12
3.75	1.74	3.75	1.30
4.00	2.02	4.00	1.50

2.5.1 Acero de refuerzo negativo

Para que las losas funcionen adecuadamente, cuando hay continuidad o se consideren como empotradas en los apoyos, se necesita constructivamente que se den los detalles apropiados para la colocación del refuerzo por momento negativo, queda como una aportación del constructor, pero este último deberá saber cuánto necesita colocarse.

De acuerdo con el reglamento de la ACI en su sección 8.3.3 del reglamento indica que se pueden utilizar los siguientes momentos en el diseño de vigas continuas y de losas en una dirección (losas reforzadas para resistir los esfuerzos de flexión en una sola dirección), siempre y cuando:

- a) Haya dos o más claros
- b) Los claros sean aproximadamente iguales, sin que el mayor de los claros adyacentes exceda en más del 20% al menor.
- c) Las cargas estén uniformemente distribuidas.
- d) La carga viva unitaria no exceda tres veces la carga muerta unitaria.
- e) Los elementos sean prismáticos.

Momento negativo en la cara exterior del primer apoyo interior:

Dos claros _____ $w \times l^2 / 9$

Más de dos claros _____ $w \times l^2 / 10$

Momento negativo en las demás caras de apoyos interiores ____ $w \times l^2 / 11$

Momento negativo en la cara de todos los apoyos:

Para losas con claros que no excedan 3 m. _____ $w \times l^2 / 12$

2.6 Esfuerzo cortante

2.6.1 Cortante directo

El concreto utilizado en la capa de compresión del sistema es de la misma naturaleza que el concreto de las placas prefabricadas. El corte transversal se resistirá asumiendo que todo el espesor es de un solo concreto. El corte longitudinal se resistirá por fricción y por pasadores entre las dos superficies interiores.

Siguiendo el ejemplo 1 y analizando el efecto del esfuerzo de corte tendremos que:

$$V = W \times L / 2$$

$$V = 746 \times 3 / 2$$

$$V = 1119 \text{ kg.}$$

El esfuerzo de corte actuante será:

$$V_a = V / (F \times b \times d)$$

$$V_a = 1119 / (0.75 \times 100 \times 7.5)$$

$$V_a = 1.99 \text{ kg. /cm}^2$$

El concreto resiste $F_{Vc} = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{100} = 4.50 \text{ kg. / cm}^2$. Según ACI 318-83, capítulo 11.2.1.2

De donde $4.50 > 1.90$ ok

Con el ejemplo anterior se puede observar que el sistema tiene una alta capacidad para resistir esfuerzos de corte.

A continuación se presenta una tabla de los cortes actuante para diferentes luces, donde se podrá observar que los mismos, inclusive para luces mayores de 4 m., son menores que el que resiste el concreto por si solo para $f'_c = 100 \text{ kg. /cm}^2$.

Tabla II. **Corte actuante según la luz libre entre apoyos**

CARGA VIVA = 200 kg. /m ²	
Luz (m)	Va (kg.)
2.0	1.33
3.0	1.99
4.0	2.65
5.0	3.31

El corte del concreto liviano por si solo soporta los esfuerzos de corte actuantes para luces de diseño en las cuales serán otros factores a analizar los más críticos.

2.6.2 Corte por fricción

Cuando el refuerzo de cortante por fricción es perpendicular al plano de cortante, la resistencia al cortante V_n es:

$$V_n = A_v f_y \mu$$

Donde μ es el coeficiente de fricción. Dicho coeficiente de fricción, para concreto colado sobre concreto endurecido no intencionalmente áspero es de 0.6 ? y donde ? es 0.85 para concreto ligero con arena, concreto de nuestro estudio. ACI 11.7.4.3.

Las barras que atraviesan la sección entre plancha inferior y fundición son de 4.5 mm. cada 20 cm.

Entonces,

$$V_u = A_v f_y \mu$$

$$F V_u = 2550 A_v 0.85$$

$$F V_u = 2167.50 A_v = W_u b l / 2$$

$$10837.5 A_v / l = W_u$$

$$\text{donde } \mu = 0.6 \cdot 0.85 = 0.51$$

$$f_y = 5000 \text{ Kg. /cm}^2$$

$$b = 40 \text{ cm.}$$

$$A_s = 0.238 \text{ cm}^2 (4.5 \text{ mm.})$$

$$A_v = (0.795 \text{ cm}^2 / \text{m.}) \cdot 0.40 = 0.318 \text{ cm}^2 / \text{plancha} \quad W_u = 3446.3 / l$$

Tabla III. **Carga última según la luz libre entre apoyos**

l	W _u
2.5	1378.52
3.0	1148.77
3.5	984.66
4.0	861.57
4.5	765.84
5.0	689.26

Se puede ver que se puede usar el concreto liviano y que las cargas que soporta son altas. Si fuera necesario aumentar la capacidad de carga, bastaría con unir los ganchos mencionados a cada 15 cm., o bien cambiar el diámetro del gancho a 5.5 mm.

2.7 Cálculo de deflexiones

La deflexión máxima de un elemento simplemente apoyado y con carga uniformemente distribuida se obtiene mediante la resolución de la ecuación:

$$\Delta = 5 \times W \times l^4 / (384 \times E \times I)$$

El modulo de elasticidad E_c para el concreto puede tomarse como $w_c^{1.5} \times 0.14 \times f'_c$ (en kg. /cm²), para valores con w_c comprendidos entre 1440 y 2480 kg. /m³. ACI 318-94 en su sección 8.5.

El modulo de elasticidad E_s para el refuerzo no presforzado se puede considerar como 2030000 kg. /cm². ACI 318-94 en su sección 8.6.

El valor del momento de inercia I_g se calcula por medio del concepto de sección transformada donde se sustituye el área de acero por un área equivalente de concreto, que se determina multiplicando el área de acero por la relación entre el modulo de elasticidad del acero y del concreto. Esta relación modular se representa usualmente con la letra n .

Se aplica para este estudio el primer método de Yu y Winter para cargas de corta duración.

$$\begin{aligned} &= 1600^{1.5} \times 0.14 \times 100 \\ &= 0.9 \times 10^5 \text{ kg. /cm}^2 \end{aligned}$$

Tenemos que $n = E_s / E_c$

$$= 2.1 \times 10^6 / 0.9 \times 10^5$$

$$= 23$$

entonces, $A_{st} = n A_s$ en la zona de tensión

La profundidad del eje neutro queda expresada: $bx^2 / 2 = n A_s (d - x)$

Y el momento de inercia será: $I_{ag} = (bx^3 / 3) + n A_s (d - x)^2$

Posteriormente, se calculara la deflexión, como antes se expuso, para los diferentes casos desarrollados experimentalmente y se compararan los mismos.

3. PROCESO DE PREFABRICACIÓN DE PLACAS LIVIANAS

3.1 Materiales

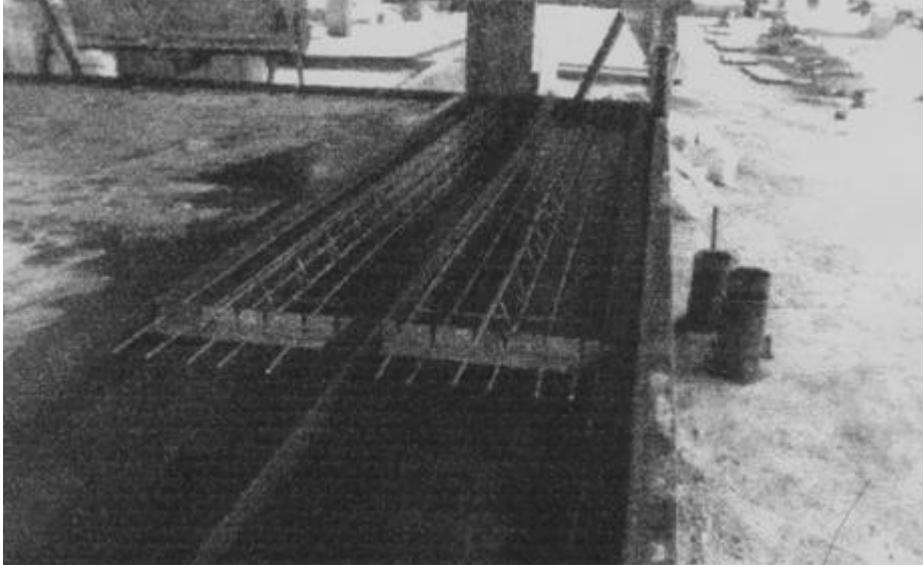
Los materiales descritos en la sección 5.2 son los utilizados en la prefabricación de las placas. El acero de refuerzo tanto para momentos negativos y positivos es de $f_y = 5000 \text{ kg. /cm}^2$. El concreto liviano es de tipo envasado, analizado en este trabajo, determinando experimentalmente sus valores de W_u , f'_c , E_c , principalmente. El peso del concreto arroja un valor aproximado de 1600 Kg. /m^3 , un $f'_c = 160 \text{ kg. /cm}^2$ y un valor de $E_c = 0.9 \times 10^5 \text{ kg. /cm}^2$.

3.2 Fabricación de moldes

Es importante que los moldes sean de lamina negra, tanto la base como los separadores, o bien que la base sea de concreto y que los separadores metálicos o bien podrán ser de madera. De que estén hechos los moldes puede ser factor determinante para que el vibrado de las placas prefabricadas tengan una mejor calidad tanto en el concreto colado como en el producto terminado.

El molde utilizado en nuestro estudio es como el que se muestra en la figura número 3.

Figura 3. **Vista de armado**



En el caso de la figura 3, los moldes utilizados para la fabricación de las planchas utilizan como base principal una mesa vibratoria con separadores metálicos, lo que hace que el producto de nuestro estudio tenga una buena mezcla y calidad en su producción.

Los moldes para la fabricación de las placas deberán tener topes, como lo muestra la figura, en los cuales se distribuyen los aceros longitudinales y se elevan de la base 2.5 cm. para darle su recubrimiento mínimo a las varillas.

3.3 Izajes

Las placas de concreto liviano pueden ser muy fácilmente colocadas en obra debido a su bajo peso en comparación a si estas fueran de concreto normal. Cuando las placas de nuestro estudio sobrepasen los 4.50 m. estas ya

tendrán un peso de aproximadamente 136 kg. Para estos casos o mayores, se hace necesario colocar izajes para su transportación tanto del banco al transporte, como del camión a la obra. Para los izajes se recomienda colocar alzas a 1/3 de la luz de la placa para su transportación. Como se podrá ver posteriormente el sistema de nuestro estudio podrá cubrir luces cercanas a los 4.50 m. para que sea funcional y cheque la deflexión permisible de acuerdo con los límites que establece el ACI 318 en su sección 9.5.

3.4 Transporte

A continuación se presenta una tabla de pesos en función de longitudes de placas para determinar el número de las mismas que se pueden transportar por camión. Es recomendable que el manipuleo de las placas sea de canto y la colocación en la plataforma del camión de igual manera.

Tabla IV. **Transporte de placas en camión según su longitud**

Espesor m	Longitud m	Ancho m	Volumen m ³	Peso kg.	Unidades por camión
0.05	2.00	0.40	0.040	64.0	142
0.05	2.25	0.40	0.045	72.0	126
0.05	2.50	0.40	0.050	80.0	113
0.05	2.75	0.40	0.055	88.0	103
0.05	3.00	0.40	0.060	96.0	94
0.05	3.25	0.40	0.065	104.0	87
0.05	3.50	0.40	0.070	112.0	81
0.05	3.75	0.40	0.075	120.0	75
0.05	4.00	0.40	0.080	128.0	70

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Preparación del concreto liviano

El concreto que se utilizó para la fabricación de las placas, como para la fundición final del sistema, es de tipo liviano, el valor de f'_c , fue determinado a nivel de laboratorio y comparado con otros estudios hechos anteriormente, los valores obtenidos en estos ensayos se muestran en el apéndice de este estudio.

El acero utilizado para formar los nervios de las placas, como el refuerzo adicional de estas es de alta resistencia, producido por otra empresa guatemalteca y se corroboró experimentalmente su esfuerzo nominal, (ver anexo).

4.2 Ensayos del sistema

Para realizar las pruebas de carga del sistema, se procedió de la siguiente forma:

- a) Se fundieron las placas de nuestro estudio, con el armado calculado teóricamente.
- b) Se construyeron los muros laterales donde se apoya el sistema.
- c) Se colocaron las placas prefabricadas en cantidad de dos unidades una a continuación de la otra sobre los muros de carga.

- d) Se paralea el sistema como se indicó con anterioridad, haciendo los respectivos anclajes de los nervios de las placas en la solera de corona de los muros laterales.
- e) Se colocó el refuerzo por temperatura usando para esto una malla electrosoldada de $A_s = 0.75 \text{ cm}^2 / \text{m}$, de alta resistencia y sus bastones por momento negativo cuando así fue requerido por el cálculo.
- f) Se encofra el perímetro del sistema para la fundición final del mismo a edad de 14 días.
- g) Los resultados obtenidos de los ensayos se presentan en el siguiente capítulo.

5. MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y COMPARACIÓN TEÓRICA DE RESULTADOS

5.1 Ensayo num. 1 (semi-empotrado en los extremos)

Acero Longitudinal = 3 \varnothing 6.2 mm ($A_s = 0.906 \text{ cm}^2$)

Acero en la diagonal = 1 \varnothing 6.2 mm ($A_s = 0.302 \text{ cm}^2$)

Refuerzo por temperatura = malla 6 x 6 – 9/9 ($A_s = 0.75 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

Luz a cubrir = 3.00 m.

Carga aplicada = 200 kg. / m^2 .

Tabla V. **Carga, deflexión y hora para ensayo num. 1 (día 1)**

Carga total en kg.	Carga en kg. / m^2	Deflexión en cm.	Hora
240	67	0.17	11:15
480	133	0.45	11:45
720	200	0.73	12:10
	200	0.77	12:15
	200	0.78	12:30
	200	0.82	13:00
	200	0.88	13:30
	200	0.90	14:00
	200	0.96	15:00
	200	1.01	15:30
	200	1.08	17:00

Día siguiente:

Tabla VI. **Carga, deflexión y hora para ensayo num. 1 (día 2)**

Carga total en kg.	Carga en kg. /m ²	Deflexión en cm.	Hora
240	200	1.36	9:30
480	133	1.12	9:35
720	67	0.82	9:40
	0	0.52	9:45
	0	0.45	14:00

Comparación teórica:

$$CV = 200 \text{ kg. /m}^2$$

$$CM = 160 \text{ kg. /m}^2$$

CA = Se omite

$$W_u = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$W_u = 1.4 (160) + 1.7 (200)$$

$$W_u = 564 \text{ kg. /m}^2$$

$$W_u = 564 \times 0.40 = 225.60$$

$$b = 40 \text{ cm.}$$

$$d = 7.5 \text{ cm.}$$

MOMENTO POSITIVO

$$M^+ = w \times L^2 / 9$$

$$M^+ = 225. \times 3^2 / 9$$

$$M^+ = 225.6 \text{ kg.-m}$$

$$A_s^+ = 0.70 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

En este ensayo se uso $0.906 \text{ cm}^2 > 0.72 \text{ cm}^2$

MOMENTO NEGATIVO

$$M^- = w \times L^2 / 12$$

$$M^- = 225.6 \times 3^2 / 12$$

$$M^- = 169.20 \text{ kg.-m.}$$

$$A_s^- = 0.52 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

En este ensayo se uso 1? 6.2 mm. + electromalla 6 x 6 – 9 / 9 ($0.756 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

$$= 0.302 + 0.3024$$

$$= 06024 \text{ cm}^2 > 0.53 \text{ cm}^2 / \text{placa} \Rightarrow \text{Ok}$$

ESFUERZO CORTANTE

$$? V_c = 0.85 \times 0.53 \times ?160 \times 40 \times 7.5$$

$$= 1709.53 \text{ kg.}$$

$$V_a = w \times L / 2$$

$$V_a = 225.6 \times 3 / 2$$

$$V_a = 338.40 \text{ kg.}$$

De donde $1710 > 338.40 \Rightarrow \text{Ok}$

DEFLEXIÓN

$$n = E_s / E_c$$

$$n = 2.1 \times 10^6 / (0.9 \times 10^5)$$

$$n = 23$$

Profundidad del eje neutro

$$bx^2/2 = n A_s (d - x)$$

$$40x^2/2 = 23 \times 0.906 (7.5 - x)$$

$$20x^2 + 20.84x - 156.29 = 0$$

$$x = 2.32$$

Momento de inercia transformada

$$I_{tr} = n A_s (d - x)^2 + n A_s x^3 / 3$$

$$I_{tr} = 23 \times 0.906 (7.5 - 2.32)^2 + 20.84 \times 2.32^3 / 3$$

$$I_{tr} = 645.88 \text{ cm}^4$$

Asumimos deflexión como simplemente apoyado el sistema

$$? = 5 W L^4 / (384 E_c I_t)$$

Donde $W = (200 + 160) \times 0.40 / 100$ cargas de trabajo

$$? = 5 \times 1.44 \times 300^4 / (384 \times 0.9 \times 10^5 \times 645.88)$$

$$? \text{ calc} = 2.61 \text{ cm.}$$

$\delta_{perm} = L/240 = 1.25 \text{ cm.}$

$\delta_{real} = 1.36 \text{ cm.}$

5.2 Ensayo num. 2 (empotrado en los extremos)

Acero Longitudinal = 5 \varnothing 6.2 mm ($A_s = 1.51 \text{ cm}^2$)

Acero en la diagonal = 1 \varnothing 6.2 mm ($A_s = 0.302 \text{ cm}^2$)

Refuerzo por temperatura = malla 6 x 6 – 9/9 ($A_s = 0.75 \text{ cm}^2$)

Luz a cubrir = 4.00 m.

Carga aplicada = 400 kg. /m².

Tabla VII. **Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 1)**

Carga total en kg.	Carga en kg. /m ²	Deflexión en cm.	Hora
160	44	0.18	10:30
320	89	0.35	10:40
480	133	0.56	10:50
640	178	0.75	11:00
800	222	0.95	11:10
960	267	1.16	11:15
1120	311	1.40	11:20
1280	356	1.69	11:25
1440	400	1.96	11:30
1440	400	2.10	14:00
1440	400	2.25	16:00

Día siguiente:

Tabla VIII. **Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 2)**

Carga total en kg.	Carga en kg. /m ²	Deflexión en cm.	Hora
1440	400	2.35	14:00
960	267	1.75	14:10
480	133	1.35	14:20
0	0	0.90	14:30

Día siguiente:

Tabla IX. **Carga, deflexión y hora para ensayo num. 2 (día 3)**

Carga total en kg.	Carga en kg. /m ²	Deflexión en cm.	Hora
0	0	0.38	14:00

Comparación teórica:

$$CV = 200 \text{ kg. /m}^2$$

$$CM = 160 \text{ kg. /m}^2$$

CA = Se omite

$$Wu = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$Wu = 1.4 (160) + 1.7 (400)$$

$$Wu = 904 \text{ kg. /m}^2$$

$$\text{Carga distribuida} = 904 \times 0.40$$

$$= 361.60 \text{ kg. /m}$$

MOMENTO POSITIVO

$$M^+ = w \times L^2 / 14$$

$$M^+ = 361.60 \times 4^2 / 14$$

$$M^+ = 413.26 \text{ kg.-m}$$

$$As^+ = 1.33 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

Para este ensayo se uso 5 var. \varnothing 6.2 mm. = $1.51 \text{ cm}^2 > 1.33 \text{ cm}^2$

MOMENTO NEGATIVO

$$M^- = w \times L^2 / 12$$

$$M^- = 361.60 \times 4^2 / 12$$

$$M^- = 482.13 \text{ kg.-m.}$$

$$As^- = 1.58 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

$$0.98 - 0.40$$

$$0.302 - x$$

$$x = 0.12 \text{ m.}$$

Usar \varnothing 6.2 mm. a 12 cm.

ESFUERZO CORTANTE

$$\varnothing V_c = 0.85 \times 0.53 \times \varnothing 160 \times 40 \times 7.5$$

$$= 1710 \text{ kg.}$$

$$V_a = w \times L / 2$$

$$V_a = 361.60 \times 4 / 2$$

$$V_a = 723.20 \text{ kg.}$$

De donde $1710 > 723.20 \Rightarrow \text{Ok}$

DEFLEXIÓN

$$n = 23$$

Profundidad del eje neutro

$$bx^2/2 = n A_s (d - x)$$

$$40x^2/2 = 23 \times 1.51 (7.5 - x)$$

$$20x^2 + 34.75x - 260.48 = 0$$

$$x = 2.90 \text{ cm.}$$

Momento de inercia transformada

$$I_{tr} = n A_s (d - x)^2 + n A_s x^3 / 3$$

$$I_{tr} = 23 \times 1.51 (7.5 - 2.9)^2 + 23 \times 1.51^3 / 3$$

$$I_{tr} = 1017.23 \text{ cm}^4$$

Asumimos deflexión como simplemente apoyado el sistema

$$? = 5 W L^4 / (384 E_c I_{tr})$$

$$? = 5 \times 2.24 \times 400^4 / (384 \times 0.9 \times 10^5 \times 1017.23)$$

$$?_{\text{calc}} = 8.15 \text{ cm.}$$

$$?_{\text{perm}} = L/240 = 1.67 \text{ cm.}$$

? real = 2.35 cm.

5.3 Ensayo num. 3 (articulado en los extremos)

Acero Longitudinal = 6 ? 6.2 mm (As = 1.81 cm²)

Acero en la diagonal = 1 ? 6.2 mm (As = 0.302 cm²)

Refuerzo por temperatura = malla 6 x 6 – 9/9 (As = 0.75 cm²)

Luz a cubrir = 3.00 m.

Carga aplicada = 500 kg. /m².

En este ensayo se tomaron las siguientes consideraciones para determinar la carga a aplicar.

$$W = 0.85 W_t - CM$$

Donde W_t es la carga total y CM la carga muerta del sistema

El área a ensayar fue de $0.80 \times 3.00 = 2.40 \text{ m}^2$

Donde: $W_t = 160 \times 1.4 + 500 \times 1.7$

$$W_t = 1074 \text{ kg. /m}^2$$

Entonces, $0.85 W_t = 0.85 \times 1074 \times 2.40$
 $= 2190.96 \text{ kg.}$

De donde, $W = 2190.96 - 160 \times 2.40$
 $= 1806.96 \text{ kg.}$

Como en este caso aplicamos como carga cilindros de concreto con un peso de 12 kg. /unidad, entonces la cantidad de cilindros a aplicar será:

$$\text{No. Cilindros} = 1806.96/12 = 150.58 \text{ unidades}$$

Por motivos de aplicación práctica se aplicaron 152 cilindros como se detalla a continuación:

Tabla X. **Cilindros, carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 1)**

Número de cilindros	Carga aplicada en kg.	Deflexión en mm.
38	190	2.00
76	380	9.00
114	570	15.50
152	760	22.50

Día siguiente:

Tabla XI. **Cilindros, carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 2)**

Número de cilindros	Carga aplicada en kg.	Deflexión en mm.
152	760	25.50
114	570	22.50
76	380	18.00
38	190	8.50

Día siguiente:

Tabla XII. **Cilindros, carga y deflexión para ensayo num. 3 (día 3)**

Número de cilindros	Carga aplicada en kg.	Deflexión en mm.
0	0	6.50

Comparación teórica:

$$CV = 500 \text{ kg. /m}^2$$

$$CM = 160 \text{ kg. /m}^2$$

CA = Se omite

$$W_u = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$W_u = 1.4 (160) + 1.7 (500)$$

$$W_u = 1074 \text{ kg. /m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Carga distribuida} &= 1074 \times 0.40 \\ &= 429.6 \text{ kg. /m} \end{aligned}$$

MOMENTO POSITIVO

$$M^+ = w \times L^2 / 8$$

$$M^+ = 429.60 \times 3^2 / 8$$

$$M^+ = 483.30 \text{ kg.-m}$$

$$A_s^+ = 1.59 \text{ cm}^2$$

En este ensayo se uso 6 var. \varnothing 6.2 mm. = $1.81 \text{ cm}^2 > 1.59 \text{ cm}^2$

MOMENTO NEGATIVO

$$M^- = w \times L^2 / 12$$

$$M^- = 429.60 \times 3^2 / 24$$

$$M = 161.10 \text{ kg.-m.}$$

$$A_s = 0.49 \text{ cm}^2 / \text{placa}$$

La electromalla 6 x 6 – 9 / 9 = 0.75 cm² / placa + 1 ? 6.2 mm. = 0.60 cm² / placa
> 0.49

ESFUERZO CORTANTE

$$\begin{aligned} V_c &= 0.85 \times 0.53 \times 160 \times 40 \times 7.5 \\ &= 1710 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$V_a = w \times L / 2$$

$$V_a = 429.60 \times 3 / 2$$

$$V_a = 644.40 \text{ kg.}$$

De donde 1710 > 644.40

DEFLEXIÓN

$$n = 23$$

Profundidad del eje neutro

$$bx^2/2 = n A_s (d - x)$$

$$40x^2/2 = 23 \times 1.81 (7.5 - x)$$

$$20x^2 + 41.63x - 312.22 = 0$$

$$x = 3.04 \text{ cm.} < 5.00 \text{ cm.}$$

Momento de inercia transformada

$$I_{tr} = n A_s (d - x)^2 + n A_s x^3 / 3$$

$$I_{tr} = 23 \times 1.81 (7.5 - 3.04)^2 + 23 \times 1.81 \times 3.04^3 / 3$$

$$I_{tr} = 1217.94 \text{ cm}^4$$

$$\delta = 5 W L^4 / (384 E_c I_{tr})$$

$$\text{donde } W = (500 + 600) \times 0.40 / 100 = 2.64 \text{ kg. /cm.}$$

$$\delta = 5 \times 2.64 \times 300^4 / (384 \times 0.9 \times 10^5 \times 1217.94)$$

$$\delta_{\text{calc}} = 2.54 \text{ cm.}$$

$$\delta_{\text{perm}} = 1.25 \text{ cm.}$$

$$\delta_{\text{real}} = 2.55 \text{ cm.}$$

ENSAYO num. 1

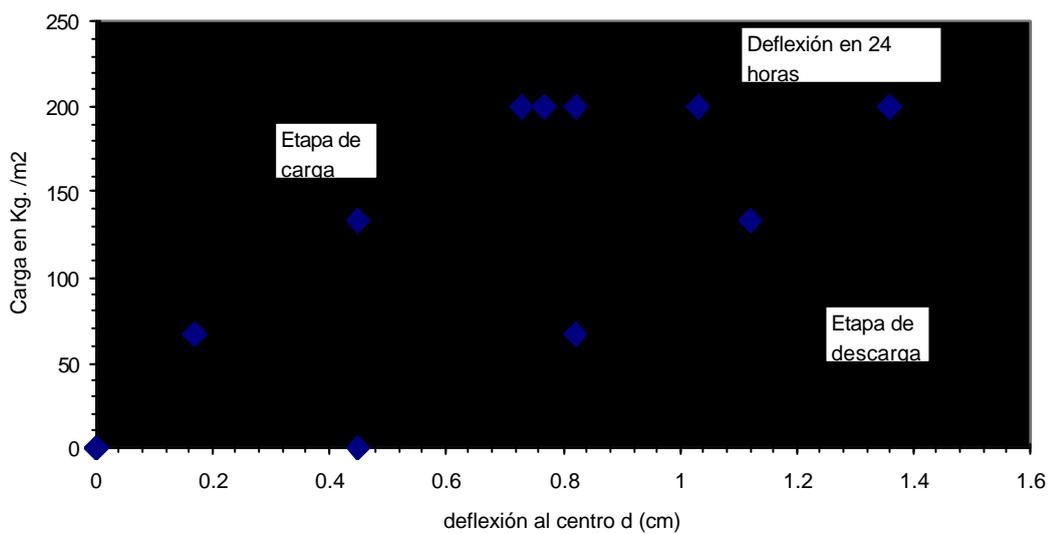
PRUEBA DE CARGA A FLEXIÓN

LOSA MACISA CON PLACAS LIVIANAS

Tabla XIII. Carga contra deflexión para ensayo num. 1

Kg. /m ²	d (cm.)
0	0
67	0.17
133	0.45
200	0.73
200	0.77
200	0.82
200	1.03
200	1.36
133	1.12
67	0.82
0	0.45

Figura 4. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 1



Recuperación

$$R\% = ((1.36 - 0.45) / 1.36) \times 100 = 66.91\%$$

ENSAYO num. 2

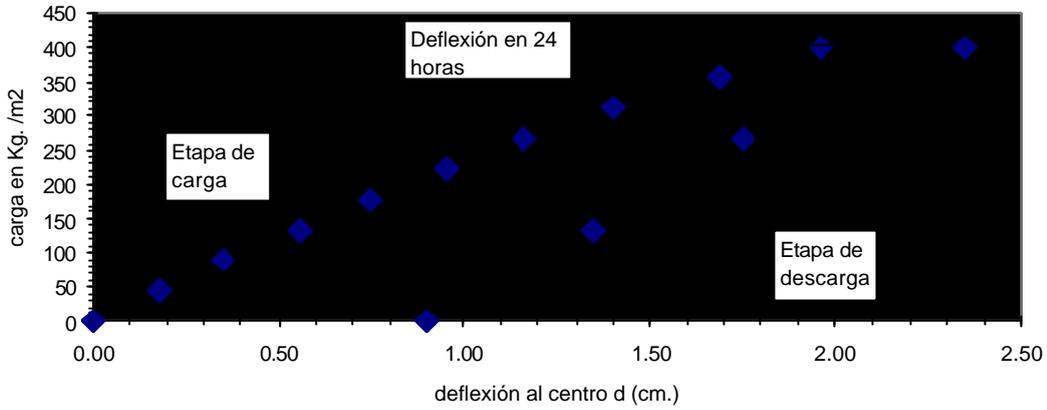
PRUEBA DE CARGA A FLEXIÓN

LOSA MACISA CON PLACAS LIVIANAS

Tabla XIV. **Carga contra deflexión para ensayo num. 2**

kg. /m2	d (cm.)
0	0.00
44	0.18
89	0.35
133	0.56
178	0.75
222	0.95
267	1.16
311	1.40
356	1.69
400	1.96
400	2.35
267	1.75
133	1.35
0	0.90

Figura 5. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 2



Recuperación

$$R\% = ((2.55 - 0.9) / 2.55) \times 100 = 64.70\%$$

ENSAYO num. 3

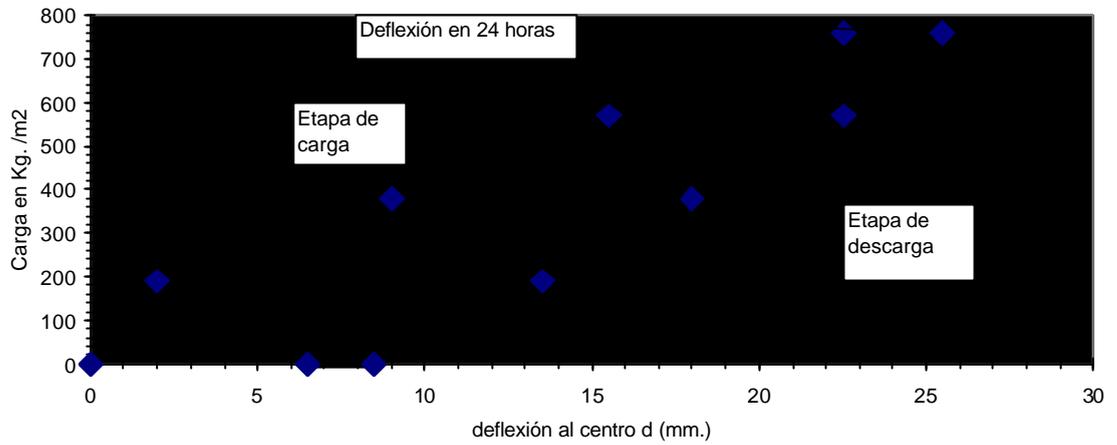
PRUEBA DE CARGA A FLEXIÓN

LOSA MACISA CON PLACAS LIVIANAS

Tabla XV. Carga contra deflexión para ensayo num. 3

kg. /m2	d (cm.)
0	0
190	2
380	9
570	15.5
760	22.5
760	25.5
570	22.5
380	18
190	13.5
0	8.5
0	6.5

Figura 6. Gráfica de carga contra deflexión para el ensayo num. 3



Recuperación

$$R\% = ((25.5 - 6.5) / 25.5) \times 100 = 74.41\%$$

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

ENSAYO num. 1

MOMENTO POSITIVO

Dadas las condiciones de apoyo de este ensayo, cuando se hace la comparación teórica, para determinar los valores a usar en el momento positivo, se selecciona $M^+ = w \times L^2 / 9$ debido a que no existe continuidad, además, se colocaron soleras en los apoyos de las placas, lo cual da un índice que existe cierta restricción lateral en los extremos, en la elástica imaginaria del sistema. El área de acero calculada fue menor que el área de acero utilizada en el ensayo experimental.

MOMENTO NEGATIVO

El valor del momento negativo usado en la comparación teórica es demasiado conservador, pudo haberse utilizado un valor de $M = w \times L^2 / 24$. Para este caso y con una luz de 3.00 m., no es crítico el análisis del sistema por momento negativo.

ESFUERZO CORTANTE

A pesar que el $f'c$ del concreto liviano oscila en promedio en 160 kg. /cm² el esfuerzo cortante interno del mismo no es crítico. En el caso de este ensayo y para una luz de 3.00 m. el valor del esfuerzo cortante actuante fue de 338.40

kg. el esfuerzo resistente al corte del concreto liviano es de 1710.00 kg. para esta sección. Por lo tanto el análisis por corte no es crítico.

DEFLEXIÓN

El método utilizado para determinar la deflexión fue tomado del libro Aspectos fundamentales del concreto reforzado de los autores Oscar M. González, Francisco Robles, Juan Casillas y Roger Díaz, los valores obtenidos de este método en la determinación teórica de la deflexión son bastante conservadores, el método del reglamento ACI en sus resultados es menos conservador. La deflexión calculada nos da 2.61 cm. La deflexión permisible es de 1.25 cm. La deflexión real fue de 1.36 cm., cercana a la permisible.

ENSAYO num. 2

MOMENTO POSITIVO

En este ensayo las condiciones de apoyo fueron muy especiales, puesto que se colocaron dos soleras con hierro de $\frac{1}{2}$ " en los extremos; además, bastones de $\frac{1}{4}$ " 6.2 mm. A cada 20 cm. El valor utilizado en la comparación teórica por momento positivo fue de $M^+ = wl^2/14$ puesto que de cierta manera existe un semi-empotramiento en los extremos de las placas de nuestro estudio. El área de acero calculada fue de 1.33 cm² y el área de acero utilizada en este ensayo de 1.51 cm².

MOMENTO NEGATIVO

Dadas las condiciones de apoyo mencionadas anteriormente se utilizó en la comparación teórica un valor de $M = wl^2/12$ (puedo haber sido menor). El

área de acero calculada fue de 1.58 cm^2 . El área real utilizada fue de 1.50 cm^2 equivalente a $3 \times 6.2 / \text{placa} + \text{malla } 6 \times 6 - 9 / 9$.

ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo actuante calculado fue de 723.20 kg. EL corte que soporta el concreto liviano es de 1710 kg. para esta sección.

DEFLEXIÓN

En la comparación de los resultados teóricos y prácticos en este ensayo podemos observar que existe una divergencia muy significativa de los resultados ya que el cálculo teórico de la deflexión nos arroja un valor de 8.15 cm. Teniendo una permisible de 1.67 cm. Y una experimental de 2.35. Podemos observar que el valor de $\delta = 54x^4 / (384Ecltr)$ es el valor exacto para un sistema simplemente apoyado y en este caso como se menciona con anterioridad, existe un empotramiento en los extremos del sistema lo cual hace notar que el valor utilizado para el cálculo de la deflexión no es concordante con lo real. También se puede observar que el valor experimental de la deflexión es de 2.35 cm., siendo la permisible para entrepiso de 1.67 cm. y de 2.22 cm. para techos.

ENSAYO num. 3

Este ensayo se realizó con el cuidado de tener un modelo matemático lo mas aproximado a la realidad, para poder tener una mejor apreciación del comportamiento del sistema de LOSA MACISA CON SISTEMA DE PLACAS PREFABRICADAS EN CONCRETO LIVIANO. Se realizó en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, con asistencia del Ing. Juan Miguel Rubio. Los aspectos que se tomaron en cuenta fueron las siguientes:

1. El paraleado del sistema de placas prefabricadas se realizo antes de colocar los elementos prefabricados, teniendo sumo cuidado que las placas no sufrieran ninguna deflexión por el peso propio ni por la fundición final del concreto de la capa de compresión.
2. En los apoyos de los levantados laterales no se colocó ninguna solera de remate para asegurar que nuestro modelo matemático es el de un sistema simplemente apoyado.
3. Se sacaron muestras del concreto utilizado para la fundición, para la posterior determinación del valor del esfuerzo nominal del concreto en cuestión, también del acero de refuerzo.

MOMENTO POSITIVO

Dadas las condiciones de apoyo del sistema, al comparar teóricamente se tomó como $M^+ = wl^2/8$. El área de acero calculada fue de $1.59 \text{ cm}^2 < 1.81 \text{ cm}^2$.

MOMENTO NEGATIVO

Como se puede apreciar en el ejemplo comparativo, el momento negativo no es crítico en un sistema de placas simplemente apoyadas por ser mínimo este esfuerzo. Es importante hacer notar que tanto la malla como el cordón superior del joist del elemento prefabricado contribuyen a absorber el esfuerzo por momento negativo.

MOMENTO NEGATIVO

Como se puede apreciar en el ejemplo comparativo, el momento negativo no es crítico en un sistema de placas simplemente apoyadas por ser mínimo este esfuerzo. Es importante hacer notar que tanto la malla como el cordón superior del joist del elemento prefabricado contribuyen a absorber el esfuerzo por momento negativo.

ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante calculado para este ensayo fue de 664.40 kg. el corte que soporta el concreto liviano por sí solo sin analizar la contribución de la varilla que va en diagonal en el joist es de 1710 kg.

DEFLEXION

La deflexión calculada para este sistema nos da un valor de 2.54 cm., la deflexión real, resultado del ensayo fue de 2.55 cm. La deflexión permisible para un entrepiso en esas condiciones dará de 1.25 cm. y para una losa de techo de 1.67 cm.

En el ensayo num. 3 se consideró una carga viva de 500 kg. /m², en la integración de las cargas aplicadas en este ensayo se colocaron 152 cilindros de concreto con un peso de 12 kg. /cilindro, debido a que la carga aplicada en este análisis fue mayor que la que comúnmente se utilizaría en un entrepiso para uso de habitación o no digamos un techo, se considera que comparado este ensayo con el no. 1 nos lleva a definir las conclusiones.

CONCLUSIONES

1. Con base en el ensayo no. 3 la utilización de este sistema deberá tener las siguientes limitaciones:

El sistema de losa macisa con placas prefabricadas en concreto liviano puede ser utilizado en entresijos normales de uso de habitación hasta luces de 3.50 m. Sin que la deflexión exceda los límites establecidos por la ACI.

El sistema de losa macisa con placas prefabricadas en concreto liviano puede ser utilizado en techos finales hasta luces libres máximas de 4.00 m.

2. El sistema no debe ser sometido a cargas de ocupación mayores de 300 kg. /m² para luces mayores de 3.00 m. por no conocerse la deflexión a largo plazo del mismo.
3. La limitación del sistema de losa macisa con placas prefabricadas en concreto liviano es la deflexión debido a su bajo módulo de elasticidad.
4. Con el uso del método de esfuerzos últimos para comparar los resultados experimentales en este estudio, se obtiene un índice de cálculo para determinar los refuerzos en el uso de este sistema en su construcción.

5. Debido a que los apoyos juegan un papel determinante en el comportamiento de la elástica del sistema, deberá llevarse a cabo posteriormente un estudio para aproximar el verdadero valor de la deflexión por usar teóricamente para una mejor aproximación a los resultados obtenidos experimentalmente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el sistema en el uso de entrepisos por su bajo peso nominal, debido a que reduce la carga muerta como contribución al peso total de una estructura. Por esta razón se hizo el presente estudio para tener un índice de su comportamiento experimental y de esta manera una mejor imagen de su uso.
2. Se recomienda separar los apoyos a distancias no mayores a los 3.00 m. para obtener la contribución en la reducción del peso en una estructura del o los entrepisos que posea.
3. Debe hacerse notar que no requiere ningún acabado en la parte inferior de la placa prefabricada, puesto que el mismo en su producción es homogéneo; además, se reduce notablemente el uso de madera para su fundición *in situ*.

BIBLIOGRAFÍA

1. García Ovalle, Julio Guillermo. Estudio del verdadero esfuerzo ultimo en compresión y de la distribución de esfuerzos en la zona de compresión, debido a la flexión en el concreto liviano de pómez del valle de Guatemala. Tesis de Ingeniería. USAC, Facultad de Ingeniería, noviembre 1972.
2. Morales Figueroa, Bernardo René. Mezclas de concreto liviano con piedra pómez del valle de Guatemala. Tesis de Ingeniería. USAC, Facultad de Ingeniería, septiembre 1962.
3. Gonzáles, Oscar; Robles, Francisco; Casillas, Juan y Dias, Roger. Aspectos fundamentales del concreto reforzado. 2ª. Edición, Editorial Limusa, 1981.

ANEXO 1

**RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS MATERIALES DEL SISTEMA
CONSTRUCTIVO**

Figura 8. Barras de acero de refuerzo para concreto.



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



BARRAS DE ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

INFORME: 231-M O.T. No. 11522
INTERESADO: ING. JUAN MIGUEL RUBIO-MARIO HERNANDEZ
PROYECTO: TESIS SOBRE PLACAS LIVIANAS
FABRICA:
FECHA: 06/04/99
No. DE MUESTRAS: 1
APARIENCIA: BUENA

		PROMEDIO	ESPECIFICACIONES
No.	18	DEL ACERO No 2
PESO KG/M	0.228	0.228	0.234 MINIMO
DIAMETRO MM	6.09	6.09	6.17 MINIMO*
PERIMETRO MM	19.14	19.14	19.37 MINIMO*
AREA CM2	0.291	0.291	0.3 MINIMO*
ESPAC. LONG. MM	4.9	4.9**	MAXIMO*
ANCHO RIBETE MM	1.6	1.6**	MAXIMO
ALTURA MM	0.37	0.37**	MINIMO
RESISTENCIA A TENSION Mpa		PROMEDIO	ESPECIFICACION ACERO
LIMITE FLUENCIA	330	330	276
ESFUERZO MAXIMO	835	835	483
ESFUERZO RUPTURA	639	639	
REDUCCION DE AREA %	38.27	38.27	
ALARGAMIENTO%			
5 CM.	16	16	
20 CM.	6	6	
*DIAMETRO PERIMETRO Y AREA EFECTIVA ESFUERZOS CALCULADOS SOBRE AREA: EFECTIVA		ESPECIFICACIONES: COGUANOR 36011	

OBSERVACIONES: Mpa=sistema de Medida Internacional. Mpa*10.197=Kg/cm2
Mpa*145.004=#/puf2/ Corrugacion: ESPIRAL

EL GRADO 276 (SIST. INT.) CORRESPONDE AL GRADO 40 (INGLES)

Atentamente
Vo.Bo.
ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ
DIRECTOR C.I.I.



ING. PABLO DE LEÓN
JEFE SECCION METALES

CBR

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.

38

Figura 9. Barras de acero de refuerzo para concreto.



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



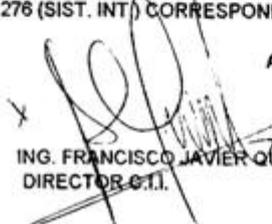
BARRAS DE ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

INFORME: 232-M O.T. No. 11522
INTERESADO: ING. JUAN MIGUEL RUBIO-MARIO HERNANDEZ
PROYECTO: TESIS SOBRE PLACAS LIVIANAS
FABRICA: *****
FECHA: 06/04/99
No. DE MUESTRAS: 1
APARIENCIA: BUENA

		PROMEDIO	ESPECIFICACIONES
No.	19	DEL ACERO No 2
PESO KG/M	0.229	0.229	0.234 MINIMO
DIAMETRO MM	6.1	6.1	6.17 MINIMO*
PERIMETRO MM	19.16	19.16	19.37 MINIMO*
AREA CM2	0.292	0.292	0.3 MINIMO*
ESPAC. LONG. MM	4.8	4.8**	MAXIMO*
ANCHO RIBETE MM	1.91	1.91**	MAXIMO
ALTURA MM	0.23	0.23**	MINIMO
RESISTENCIA A TENSION Mpa		PROMEDIO	ESPECIFICACION ACERO
LIMITE FLUENCIA	336	336	276
ESFUERZO MAXIMO	840	840	483
ESFUERZO RUPTURA	672	672	
REDUCCION DE AREA %	44.41	44.41	
ALARGAMIENTO%			
5 CM.	8	8	
20 CM.	3	3	
*DIAMETRO PERIMETRO Y AREA EFECTIVA		ESPECIFICACIONES:	
ESFUERZOS CALCULADOS SOBRE AREA:		COGUANOR 36011	
EFFECTIVA			

OBSERVACIONES: Mpa=sistema de Medida Internacional.Mpa*10.197=Kg/cm2
Mpa*145.004=#/pul2/ Corrugacion: ESPIRAL

EL GRADO 276 (SIST. INT) CORRESPONDE AL GRADO 40 (INGLES)

Atentamente
Vo Bo.  
ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ DIRECTOR C.I.
ING. PABLO DE LEÓN JEFE SECCION METALES
SECCION METALES

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 176-3992. Planta: 476 0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.

39

Figura 10. Barras de acero de refuerzo para concreto.



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



BARRAS DE ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

INFORME: 233-M O.T. No. 11522
INTERESADO: ING. JUAN MIGUEL RUBIO-MARIO HERNANDEZ
PROYECTO: TESIS SOBRE PLACAS LIVIANAS
FABRICA:

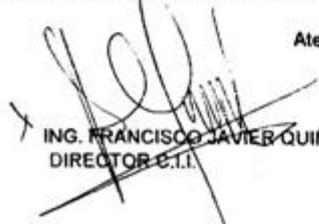
FECHA: 06/04/99
No. DE MUESTRAS: 1
APARIENCIA: BUENA

		PROMEDIO	ESPECIFICACIONES
No.	20		DEL ACERO No 2
PESO KG/M	0.229	0.229	0.234 MINIMO
DIAMETRO MM	6.09	6.09	6.17 MINIMO*
PERIMETRO MM	19.15	19.15	19.37 MINIMO*
AREA CM2	0.292	0.292	0.3 MINIMO*
ESPAC. LONG. MM	4.9	4.9**	MAXIMO*
ANCHO RIBETE MM	1.97	1.97**	MAXIMO
ALTURA MM	0.33	0.33**	MINIMO
RESISTENCIA A TENSION Mpa		PROMEDIO	ESPECIFICACION ACERO
LIMITE FLUFNCIA	330	330	276
ESFUERZO MAXIMO	790	790	483
ESFUERZO RUPTURA	673	673	
REDUCCION DE AREA %	36	36	
ALARGAMIENTO%			
5 CM.	14	14	
20 CM.	6	6	
*DIAMETRO PERIMETRO Y AREA EFECTIVA		ESPECIFICACIONES:	
ESFUERZOS CALCULADOS SOBRE AREA:		COGUANOR 36011	
EFFECTIVA			

OBSERVACIONES: Mpa=sistema de Medida Internacional.Mpa*10.197=Kg/cm2
Mpa*145.004=#/pul2./ Corrugacion: ESPIRAL

EL GRADO 276 (SIST. INT.) CORRESPONDE AL GRADO 40 (INGLES)

Atentamente

Vo.Bo.  ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ
DIRECTOR C.T.I.

 DIRECCION

 ING. PABLO DE LEON
JEFE SECCION METALES

 SECCION METALES

CBR

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.

40