

103

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



2002

DISEÑO, COMPORTAMIENTO Y DEFORMACIONES DE UN SISTEMA DE PISO PARA LOSAS ALIGERADAS.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA EL

C. CARLOS AURELIO PÉREZ ESCOBEDO

MÉXICO, D.F.

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/118/01

Señor
CARLOS AURELIO PÉREZ ESCOBEDO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. OSCAR HERNÁNDEZ BASILIO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

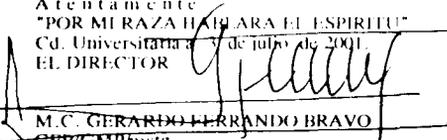
**"DISEÑO, COMPORTAMIENTO Y DEFORMACIONES DE UN SISTEMA DE PISO
PARA LOSAS ALIGERADAS"**

- INTRODUCCION
- I. ANTECEDENTES
- II. DISEÑO DEL MODELO
- III. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO
- IV. CÁLCULO DE RESISTENCIA
- V. CÁLCULO DE DEFLEXIONES
- VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria y de Julio de 2001.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
CIB/CMP/mstg

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2 JUSTIFICACIÓN	9
1.3 OBJETIVO	9
1.4 CONCRETO REFORZADO	9
1.5 SISTEMAS DE VIGUETA Y BOVEDILLA PARA LOSAS ALIGERADAS	11
CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MODELO	14
2.1 ARMAVIGA	14
2.2 BOVEDILLA	14
2.3 CAPA DE COMPRESIÓN	15
2.4 ACERO DE REFUERZO DE LA CAPA DE COMPRESIÓN	15
2.5 APUNTALAMIENTO PROVISIONAL	15
CAPÍTULO 3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO	20
3.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD EFECTIVA DE PANDEO DEL SISTEMA ARMAVIGA	20
3.2 DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE APUNTAMIENTO PARA EL SISTEMA ARMAVIGA	24
3.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE APUNTAMIENTO DE LA VIGUETA ARMAVIGA	24
3.4 FABRICACIÓN DE LAS LOSAS PARA PRUEBAS	26
3.5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DEL SISTEMA DE LOSA ARMAVIGA	29
3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
CAPÍTULO 4. CÁLCULO DE RESISTENCIA	51
4.1 GENERALIDADES	51
4.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y CORTANTE	51
CAPÍTULO 5. CÁLCULO DE DEFORMACIONES	74
5.1 GENERALIDADES	74
5.2 DEFORMACIONES PERMISIBLES	75
5.3 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DEFORMACIONES	76
5.3.1 MÉTODO DE YU Y WINTER	76
5.3.2 MÉTODO DEL REGLAMENTO ACI	77
5.3.3 MÉTODO DE LAS NORMAS TÉCNICAS (NTC)	78
5.4 CÁLCULO DE DEFORMACIONES DE LOSAS ARMAVIGA CON EL MÉTODO YU Y WINTER	81
5.6 CÁLCULOS DE DEFORMACIONES DE LOSAS ARMAVIGA CON EL MÉTODO ACI	91
5.7 CÁLCULO DE DEFORMACIONES DE LOSA ARMAVIGA CON EL MÉTODO DE LAS NORMAS TÉCNICAS DEL D F (NTCDF)	98
5.8 CONCLUSIONES	103
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
ANEXO 1. (PRUEBAS DE ARMADURAS CON DIFERENTES CLAROS)	106
ANEXO 2. DISEÑO DE CONCRETO MÉTODO ACI	115
ANEXO 3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DESTRUCTIVAS OBTENIDOS CON EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)	118
BIBLIOGRAFÍA	134

DEDICATORIA

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO: A SUS PROFESORES, INVESTIGADORES, TRABAJADORES ADMINISTRATIVOS Y ALUMNOS, TODOS ACOSTUMBRADOS A LA BELLEZA Y TOLERANCIA DE LA UNIVERSIDAD.

A MI PADRE AURELIO PÉREZ SALAS, CUYO RECUERDO Y EJEMPLO PERMANECEN

A MI MADRE, RAQUEL ESCOBEDO HARO, POR LA SUERTE QUE HE TENIDO DE TENERLA A MI LADO APOYÁNDOME, Y POR SER LA MUJER QUE MÁS ADMIRO.

A MIS HERMANAS YARELY RAKEL Y NORMA VERÓNICA, POR EL ENORME CARIÑO QUE NOS UNE.

A MI ABUELA MARIA LUISA PORQUE SIEMPRE ESTAMOS PENSANDO EL UNO EN EL OTRO.

AGRADECIMIENTOS

SIN EXTENDERME TAL VEZ LO SUFICIENTE, Y POR LO TANTO OMITIENO INJUSTAMENTE A MUCHAS PERSONAS QUE COLABORARON DE ALGÚN MODO EN LA ELABORACIÓN DE ESTA TESIS. MENCIONARÉ A LOS MÁS CERCANAS Y VALIOSAS PARA MI TRABAJO

EN PRIMER LUGAR AGRADEZCO A MIS MAESTROS DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, ING. JOSE MANUEL COVARRUVIAS SOLIS, ING. JORGE HINOJOSA, LIC. FAUSTO HERNÁNDEZ MURILLO, M.I. HUMBERTO GARDEA VILLEGAS, M.I. CARLOS OLAGARAY PALACIOS, M.I. PEDRO MARTINEZ PEREDA, M.I. BERNARDO FONTANA DE LA CRUZ.

GRAN PARTE DEL TRABAJO QUE REALICE HUBIERA SIDO IMPOSIBLE SIN LA VALIOSA AYUDA DEL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM.

AGRADEZCO ESPECIALMENTE AL ING. HECTOR JAVIER GUZMÁN OLGUIN, QUIEN SIEMPRE PERMITIÓ QUE ME CONCENTRARA EN LAS ACTIVIDADES DE DESARROLLO PERSONAL E INTELECTUAL.

MI ASESOR AL DOCTOR EN ESTRUCTURAS OSCAR HERNÁNDEZ BASILIO, POR SU PACIENCIA Y SU INMENSA DISPOSICIÓN A DISCUTIR EL TEMA DESARROLLADO EN ESTE TRABAJO.

INTRODUCCIÓN.

La función estructural de un sistema de piso es transmitir las cargas verticales hacia los apoyos que a su vez las bajan hasta la cimentación. Es casi siempre necesario que cumplan además la función de conectar los elementos verticales y distribuir entre ellos las cargas horizontales, para lo cual, debe formar un diafragma con alta rigidez en su plano. Por ser los pisos sistemas planos, las cargas verticales introducen momentos flexionantes importantes, lo que hace críticos los problemas de flechas y vibraciones de manera que el espesor y las características que definen la rigidez del sistema de pisos están regidas generalmente por el cumplimiento de estados límite de servicio.

Los sistemas de viguetas y bovedillas o de semiviguetas, permiten la integración de vigas prefabricadas de concreto presforzado, o tipo armadura, con una capa de compresión colada en sitio. Este tipo de losa se hace trabajar en una sola dirección, lo que reduce en parte la eficiencia, pero por otra parte se aprovecha acero de refuerzo de mayor resistencia y se tienen peraltes mayores con menor cantidad de concreto y de acero respecto a una losa maciza. Las bovedillas son elementos de cimbra y aligeramiento de la losa. La capa de compresión vaciada en sitio proporciona la continuidad entre los distintos elementos y es necesaria para la acción de diafragma ante las fuerzas en el plano de la losa. El mejor aislamiento térmico y acústico que se obtiene por los mayores espesores y por los elementos de aligeramiento, es una ventaja importante de estos sistemas.

El elemento prefabricado de los sistemas unidireccionales debe diseñarse para soportar el peso propio de todo el piso más las cargas vivas. El éxito de los sistemas de este tipo se funda en el grado en que se logre resolver este aspecto sin afectar el costo ni la rapidez de construcción.

Los sistemas generales de vigueta y bovedilla son con base en elementos prefabricados y procesos totalmente industrializados.

Industrialización y prefabricación son dos términos distintos. La industrialización es un proceso económico que va desde una investigación del mercado hasta la distribución del producto industrial. La prefabricación, que existe desde la antigüedad, implica la construcción de elementos, fuera de la obra, o al pie de la obra, para su fácil colocación.

La industrialización no es un concepto nuevo, su origen lo encontramos en el siglo XVIII en la revolución industrial de Inglaterra. La introducción del trabajo organizado y mecánico empezó a cambiar los conceptos en la construcción. Se iniciaba entonces la marcha de la producción que estamos viviendo. En nuestra vida cotidiana estamos rodeados de productos industrializados, nuestras ropas, nuestros vehículos, en fin todas las necesidades materiales están casi completamente satisfechas casi completamente gracias a la industria.

Comparados con otros campos de la producción, la técnica de la construcción se encuentra atrasada.

En la industrialización se persiguen tres finalidades:

La primera y la más importante es la cantidad. El aumento de población y el aumento del nivel de vida, exigen cada vez más un mayor número de habitaciones y de construcciones de todo tipo.

La segunda es la economía. La mano de obra, por el mismo aumento del nivel de vida, se hace más escasa y más cara; la finalidad de los métodos industriales de construcción es de bajar los costos, aunque esta meta esté todavía muy lejos de alcanzarse la reducción de costos que se ha logrado en la producción industrial de objetos de uso diario por comparación con los producidos manualmente.

La tercera es el tiempo. Por razones sociales y económicas, se necesitan construir lo más rápido posible. La industrialización es el único camino. Sin embargo la industrialización de la construcción a pesar de su obvia necesidad, ha encontrado serios obstáculos, que han impedido alcanzar su desarrollo. Estos obstáculos son:

1. **Fuerza de la costumbre.** Las formas industriales en ingeniería difieren de las formas a las que estamos acostumbrados, y esto crea un círculo vicioso ya que si no se ataca el problema desde las escuelas de ingeniería, no habrá avances posibles.
2. **Duración.** En nuestro concepto actual de la morada, se le considera como algo imperecedero, se tiene la idea de que la habitación debe ser eterna, patrimonio familiar. En cambio en la construcción como proceso industrial, la edificación tiene una duración limitada.

VENTAJAS Y PROBLEMAS DE LA PREFABRICACIÓN

VENTAJAS:

➤ **Economía de mano de obra.**
El empleo de sistemas de producción en serie y la mecanización tanto de la fabricación de elementos prefabricados como de su montaje, implica economías importantes en la mano de obra.

Además cuando se recurre a la prefabricación resulta más fácil programar los trabajos de manera que se reduzcan los tiempos de ejecución. Por otro lado, la prefabricación no requiere personal obrero altamente especializado.

- **Economía de materiales.** Las características de la fabricación en serie de elementos estructurales permite aplicar sistemas de control de calidad que no es posible utilizar en las obras convencionales. Un buen control de calidad hace posible un aprovechamiento más eficiente de los materiales.
- **Rapidez.** La posibilidad de traslapar las distintas etapas de construcción reduce los tiempos de ejecución. Con una correcta programación se puede conseguir que los elementos prefabricados para la estructura estén listos en el momento en que se termina la cimentación.

Además de la limpieza que caracteriza a la prefabricación, permite un mejor control del resto de las operaciones de una obra.

La disminución de los tiempos de ejecución supone una disminución no sólo de los gastos de administración y supervisión, sino también de los intereses sobre el capital.

- **Producción de gran número de elementos**
- **Control de calidad**

DESVENTAJAS

- **Necesidad de invertir en equipo especial.** Cualquier sistema de prefabricación requiere inversiones en equipo que no son necesarios en las obras convencionales
- **Dificultad en el diseño.** El diseño de edificios prefabricados exige una actitud y conocimiento distintos a los empleados en los métodos tradicionales de construcción. La forma misma de proyectar una obra varía
- **Juntas.** El diseño de juntas y conexiones es probablemente uno de los aspectos que más problemas presenta en la prefabricación
- **Supervisión.** La fabricación, el transporte y el montaje de estructuras prefabricadas, requiere una supervisión muy cuidadosa, sobre todo en lo que se refiere a las dimensiones, acabados de juntas de los elementos prefabricados.
- **Programación.** La prefabricación como parte de un proceso industrial requiere una programación mas cuidadosa, en todos sus aspectos
- **Las operaciones complementarias en una construcción, inclusive deberá supeditarse a la programación general que requiere la prefabricación.**

POSIBILIDADES DE LA PREFABRICACIÓN EN NUESTRO PAIS

Los materiales que se habian venido utilizando en los programas de vivienda habian sido en la mayoría de los casos los tradicionales, provocando en general la demanda excesiva de los mismos, lo que dificulta su obtención y encarece su precio ya que se producen en forma primitiva y en cantidades limitadas. Esto ha sido un problema técnico y económico.

Se han venido utilizando sistemas constructivos que requieren una considerable cantidad de mano de obra, lo que ha obligado a utilizar operarios de preparación muy deficiente y que se traduce en un rendimiento bajo, esto eleva los costos y por otro lado la calidad en los acabados es muy mala

Los datos dados por autoridades nos indican que se necesitará construir más de 1,500 viviendas diarias para satisfacer las necesidades de habitación. Suponiendo que se contara con los medios económicos suficientes, sería imposible construir ese número de viviendas con los métodos tradicionales de construcción por lo que tenemos forzosamente que recurrir a los sistemas industrializados de construcción

Las ventajas de la industrialización de las construcciones que puede aportar entre otras son las siguientes .

1. **Aprovechamiento óptimo de la mano de obra y materiales.** Existe la creencia errónea de que la prefabricación provocaría desempleo, sin embargo, por otro lado aumentaría la necesidad de obreros especializados con la creación de industrias.
2. **Control de calidad tanto de materiales como de productos terminados.** Se evita así mismo el desperdicio
3. **Abatimiento de costos**

En vista de la necesidad de desarrollar un sistema industrializado y prefabricado para la construcción de losas se planteó la pregunta experimental para determinar la posibilidad de usar viguetas ARMAVIGA en sistema de piso y verificar que cumplen con los requisitos de resistencia y deformación que se establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede aligerar las viguetas sin reducir su resistencia y deformación? ¿Es posible reducir o eliminar la fragilidad que adquiere una vigueta cuando se le ha colado parcial o totalmente sin alterar su funcionamiento?

1.2 JUSTIFICACION

Actualmente el sistema de piso aligerado a base de vigueta y bovedilla, se presenta con un patin de concreto en la vigueta, lo que impide que sea una estructura monolitica al no colarse completamente la nervadura. Además de dificultar el manejo en obra y aumentar los riesgos de generar mayor cantidad de desperdicio entre otras desventajas.

1.3 OBJETIVO

Proponer un tipo de vigueta construida de armadura prefabricada unida a una lámina doblada en frio para ser utilizada en la construcción de losas que tengan claros de hasta 6.0 m

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Proponer un tipo de vigueta (ARMAVIGA) compuesta de armadura prefabricada unida con soldadura a una lámina de acero doblada en frio.
2. Proponer con base en las hipótesis del concreto reforzado, un método para determinar las deformaciones del sistema, así como para el cálculo de su resistencia.
3. Elaborar losa con las viguetas propuestas para después someterla a pruebas de carácter destructivo en laboratorio, y comparar los datos obtenidos teóricamente con los que se obtendrán en el laboratorio.

A continuación se plantean distintos principios básicos que es necesario exponer para posteriormente proponer el sistema de losa ARMAVIGA.

1.4 CONCRETO REFORZADO

Acero de refuerzo

El concreto es fuerte en compresión pero débil en tensión. Por lo que se necesita de un refuerzo para resistir los esfuerzos de tensión que resulten de las cargas aplicadas. Algunas veces se utiliza refuerzo adicional para reforzar la zona de compresión de las secciones de las vigas de concreto. Tal acero es necesario para cargas pesadas a fin de reducir las deformaciones a largo tiempo.

El acero de refuerzo empleado en el concreto reforzado consiste en varillas redondas, en su mayoría del tipo corrugado, con rebordes o salientes en sus superficies. Las deformaciones en la superficie ayudan a producir una mayor adherencia entre el concreto y el acero.

TIPOS Y PROPIEDADES DEL ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo para el concreto consiste en varillas, alambres y mallas de alambres soldados, los cuales se fabrican de acuerdo a las normas ASTM. Las propiedades más importantes de acero de refuerzo son:

1. Módulo de elasticidad, E_s
2. Esfuerzo Nominal de fluencia, f_y
3. Resistencia, f
4. Designación del grado de acero.
5. Tamaño o diámetro de la varilla o alambre.

Para incrementar la adherencia entre el concreto y el acero, se laminan proyecciones denominadas corrugaciones en la superficie de la varilla. Las corrugaciones deben satisfacer la especificación ASTM A616-76 para que sean aceptadas como varillas corrugadas. El alambre tiene indentaciones imprimidas en el alambre o varilla para servir como corrugaciones. Excepto para el alambre que se utiliza en el refuerzo en espiral de columnas, únicamente las varillas corrugadas, alambres corrugados o mallas de alambre hechos de alambre lisos o corrugados pueden utilizarse en el concreto reforzado bajo práctica aprobada.

Para la mayoría de los aceros, se supone un comportamiento elastoplástico y el módulo de elasticidad se toma como 2,000,000 kg/cm².

Las mallas de alambre soldadas se utilizan en losas debido a la facilidad de colocación de las tiras de mallas, control de la separación del refuerzo y mejor adherencia. La malla de refuerzo está hecha de alambres lisos o corrugados los cuales están colocados en direcciones perpendiculares y soldados en las intersecciones.

SEPARACIÓN Y RECUBRIMIENTO PARA EL ACERO DE REFUERZO

SEPARACIÓN

Es necesario prevenir y asegurar que la mezcla de concreto húmedo pase a través del acero de refuerzo. Debido al tamaño del agregado grueso se necesita de una mínima separación entre varillas permisible y de un mínimo recubrimiento requerido.

Algunos de los principales requisitos de las Normas Técnicas Complementarias (NTC) son:

- La separación libre entre las barras paralelas (excepto en columnas y entre capas de barras en vigas) no será menor que el diámetro nominal de la barra ni que 1.5 veces el tamaño máximo del agregado.
- Cuando el refuerzo de vigas esté colocado en dos o más capas, la distancia vertical libre entre las capas no será menor que el diámetro de las barras ni que 2 cm.
- En columnas, la distancia libre entre barras longitudinales no será menor que 1.5 veces el diámetro de la barra, 1.5 veces el tamaño del agregado, ni que 4 cm.

➤ **Tamaño máximo de agregados.** El tamaño nominal máximo de los agregados no debe ser mayor que un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, un tercio del espesor de losas, ni dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquetes de barras, o tendones de preesfuerzo

RECUBRIMIENTO

Las normas especifican un mínimo recubrimiento de concreto requerido, para proteger al refuerzo de la corrosión y pérdida de resistencia en caso de fuego. Es por lo tanto necesario proteger el acero de refuerzo mediante un recubrimiento de concreto. El recubrimiento se mide como la distancia de la cara externa del concreto al borde de una varilla de refuerzo. En elementos no expuestos a la intemperie, el recubrimiento libre de toda barra de refuerzo o tendón de preesfuerzo no será menor que su diámetro, ni menor de lo señalado a continuación:

- En columnas y trabes, 2.0 cm, en losas 1.5 cm¹
- En elementos no expuestos a la intemperie, el recubrimiento libre de toda barra de refuerzo o tendón de preesfuerzo no será menor que su diámetro
- En elementos estructurales colados contra el suelo, el recubrimiento libre mínimo, además de cumplir con los requisitos anteriores, será de 5 cm si no se usa plantilla, y de 3 cm si se usa plantilla. En elementos estructurales que van a quedar expuestos a la intemperie se duplicarán los valores

Existen tanto límites superiores como inferiores en la separación entre las varillas. Los límites inferiores tienen como objetivo permitir de manera adecuada, la transferencia de esfuerzos del concreto al acero y facilitar el flujo del concreto fresco durante el colado

El objetivo esencial del acero de refuerzo es evitar el agrietamiento del concreto producido por los esfuerzos de tensión. En el diseño de las estructuras de concreto, el análisis se realiza para determinar previamente las acciones estructurales que producirán el esfuerzo de tensión, principalmente las acciones de flexión, cortante y torsión. Sin embargo, la tensión también puede ser provocada por contracción del concreto durante su desecación después del colado inicial. Las variaciones de temperatura también puede producir tensión en varios casos. Para resistir estas acciones, el RCDF requiere una cantidad mínima de refuerzo en miembros como muros y losas, incluso cuando las acciones estructurales no indican ninguna necesidad. Este refuerzo mínimo es del 0.2% en elementos estructurales protegidos de la intemperie, y 0.3% en los expuestos a ella, o que estén en contacto con el terreno. La separación del refuerzo para cambios volumétricos no excederá de 50 cm ni de 3.5 la dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo.

1.5 SISTEMAS DE VIGUETA Y BOVEDILLA PARA LOSAS ALIGERADAS

¹ Gaceta Oficial del D.D.F. "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto" Num. 48, D.F. 1987.

SISTEMA DE LOSA TRADICIONAL DE VIGUETA Y BOVEDILLA

El sistema de losa vigueta-bovedilla es un sistema compuesto básicamente por dos elementos prefabricados, la vigueta y la bovedilla, productos de fabricación sencilla y de bajo costo

Los elementos que componen el sistema de losa vigueta-bovedilla son:

1. Armadura
2. Vigueta prefabricada
3. Bovedilla
4. Capa de compresión
5. Acero de refuerzo de la capa de compresión

Los requerimientos más comunes en los sistemas de vigueta y bovedilla son, entre otros, los siguientes

El recubrimiento mínimo del acero es mayor de 1.0 cm.

Se usa concreto según especificación con agregado máximo de $\frac{3}{4}$ " y un revenimiento máximo de 10 cm y con un módulo de elasticidad de acuerdo a proyecto.

Se utiliza acero de refuerzo de grado 42 ($f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$) excepto en diámetros menores del No. 3 donde el $f_y = 6,000 \text{ kg/cm}^2$

Los paquetes de varilla son de dos como máximo

Se realiza apuntalamiento secundario a cada 1.5 metros como separación máxima.

Se usan tablonces para transitar durante el armado y en el vaciado del concreto.

Ventajas de los sistema de vigueta y bovedilla.

1. Se obtiene un ahorro con respecto a sistemas tradicionales según claros y uso de la estructura
2. El ahorro de tiempo es hasta de un 75% del tiempo normal en comparación con otros sistemas
3. La resistencia se calcula para cualquier claro y carga.
4. El peso inferior, hasta un 75%, con respecto a otros sistemas (120kg/cm² menos).
5. El montaje es sencillo y debido a la ligereza no requiere de polipastos, grúas, etc. Para su colocación bastan 2 personas normalmente, y tres si el peralte es mayor de 45 cm
6. Es térmico, ya que al usar poliestireno se tienen cualidades aislantes de frío y calor, por lo que es ideal en climas extremos, así como, para instalaciones especiales.
7. Es acústico, ya que el poliestireno es también aislante acústico. Eso lo hace ideal para auditorios, escuelas, hospitales, etc
8. Economía por su ligereza y alta estiba
9. Se elimina la cimbra de contacto.
10. Ahorro de hasta un 85% en la cimbra total de la losa
11. Menor costo por metro cuadrado de losa
12. Ahorro de mano de obra de habilitado y armado de acero de refuerzo.
13. Ahorro de alambre recocido para amarres
14. Reducción de desperdicios
15. Se mejora la calidad de la construcción
16. Procedimiento constructivo sencillo (no requiere mano de obra especializada).

↑ Descritos anteriormente

17. Mayor control de materiales en la obra.
18. Es un sistema más limpio y más seguro.

Adicionalmente a las ventajas antes mencionadas, al usar ARMAVIGA se tienen las siguientes:

Se elimina el patin de concreto con lo que solo pesa entre 2 y 4 kg/m en lugar de 14 kg/m en viguetas de alma abierta o de 24 a 30 kg/m en las viguetas presforzadas.

Lo anterior facilita grandemente su colocación en obra, reduciendo sus tiempos de cimbrado. Además de lo anterior, al colarse todo el concreto en obra se obtiene un elemento totalmente monolítico de gran rigidez.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL MODELO

2.1 ARMAVIGA

El sistema de losa ARMAVIGA es un sistema compuesto básicamente por dos elementos prefabricados, la ARMAVIGA (armadura con lámina electrosoldada) y la bovedilla, productos de fabricación sencilla y de bajo costo

Los elementos que componen el sistema de losa ARMAVIGA son los siguientes:

- 6 ARMAVIGA
- 7 Bovedilla
- 8 Capa de compresión
- 9 Acero de refuerzo de la capa de compresión
- 10 Apuntalamiento provisional

La armadura utilizada para formar la ARMAVIGA, es una armadura estándar de acero electrosoldado triangular, formado por tres varillas longitudinales corrugadas, una superior y dos inferiores cuya resistencia nominal a la fluencia es de 6,000 kg/cm², unidas por varillas diagonales lisas o corrugadas mediante un proceso de soldadura por resistencia eléctrica a cada 20 cm en forma de zig-zag. Ver figura 2 1

La varilla superior e inferior se fabrican con acero grado 60 de acuerdo a la norma NOM-B-72 y las diagonales con acero grado 50 de acuerdo a la norma NOM-B-253

La armadura se identifica por dos números, por ejemplo en el diseño "14/36" el primer número "14" indica la altura total de la armadura en cm y el segundo "36" indica el área de las dos varillas inferiores en mm².

La armadura se fabrica en tramos estándar de 6 m, sin embargo se puede surtir en longitudes especiales desde 3 0 m hasta 9 0 m en múltiplos de 10 cm. La armadura se surte en paquetes de 120 piezas

Cuando se requiere traslapar los tramos de armadura para lograr una longitud de vigueta determinada se recomienda que el traslape se realice aproximadamente a los cuartos de la longitud de la vigueta. El traslape mínimo es de 40 cm.

La lámina es de calibre 26 con una resistencia a la tensión de 2,300 kg/cm², la cual se consigue en tramos de 1 22X2 44 m la cual se divide en 5 tramos para generar la lámina inferior del sistema ARMAVIGA como se muestra en la figura 2.2 a 2.5.

2.2 BOVEDILLA

Las bovedillas son elementos aligerantes del sistema y pueden ser de diversos materiales; las hay de cemento - arena, de poliestireno, de barro, etc., las bovedillas se apoyan directamente en las viguetas cubriendo en forma conjunta toda la superficie de la losa. Su función es eliminar la cimbra de contacto y aligerar la losa.

No se considera contribución alguna por parte de las bovedillas a la resistencia de la losa. La separación entre vigueta depende de las dimensiones de la bovedilla que se utilice, normalmente oscila entre 60 y 75 cm, medida centro a centro de viguetas, la altura de la bovedilla depende del claro de la losa y existen desde 10 hasta 20 ó más centímetros. Ver Figura 2.6

2.3 CAPA DE COMPRESIÓN

Es la capa de concreto colado en obra que queda encima de las bovedillas, el espesor varía desde un mínimo de 3 cm hasta 5 cm ó más

La capa de compresión actúa como una pequeña losa apoyada sobre las viguetas prefabricadas, de tal manera que se podrían retirar sin problema las bovedillas una vez construida la losa

Al realizarse el colado del concreto en la obra, las diagonales de la armadura funcionan como conectores entre el concreto recién colado y el patin de la vigueta, integrando en forma monolítica la vigueta con la capa de compresión (como si toda la losa se colara al mismo tiempo) Ver Figura 2.7

2.4 ACERO DE REFUERZO DE LA CAPA DE COMPRESION

Se requiere colocar acero de refuerzo en la capa de compresión para resistir los esfuerzos de flexión que se lleguen a presentar, así como para evitar agrietamientos por cambios volumétricos debidos a variaciones de temperatura, este acero de refuerzo es el mínimo requerido por contracción y temperatura

Para espesores de 3 y 4 cm, se requiere una malla soldada 66-10/10; para 5 cm de espesor, una malla 66-8/8. Figura 2.8

2.5 APUNTALAMIENTO PROVISIONAL

De acuerdo a sus características el sistema vigueta-bovedilla requiere de apuntalamiento provisional hasta que el concreto colado en obra alcance una resistencia suficiente. Para losas con viguetas de hasta 15 cm se recomienda una separación entre largueros de 1.60 m, éstos pueden ser polines de madera de 4"x4" apoyados en postes también de madera de 4"x4" espaciados a cada 1.50 m. Figura 2.9 y 2.10. Sin embargo, para este sistema se hace un análisis de los apuntalamientos según el claro de la losa en el siguiente capítulo.

FIGURAS

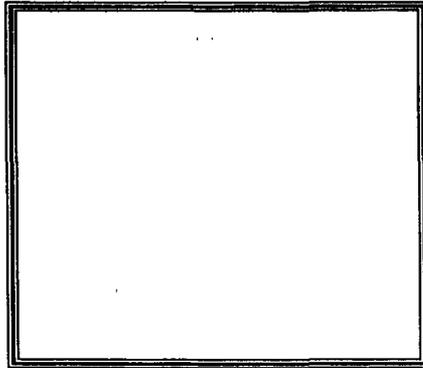


FIGURA 2.1 ARMADURA 14-36 CON LAMINA CAL 26 ELECTROSOLDADA

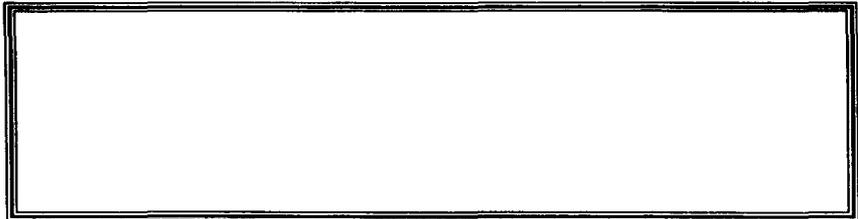


FIGURA 2.2 CORTE TRANSVERSAL DE LA LAMINA



FIGURA 2.3 ARMADURA EN ESTRUCTURA FINAL

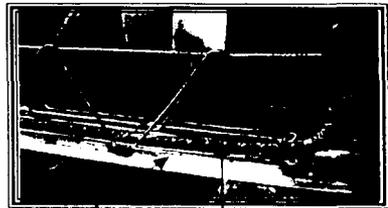


FIGURA 2.4 DETALLE DE ARMADURA

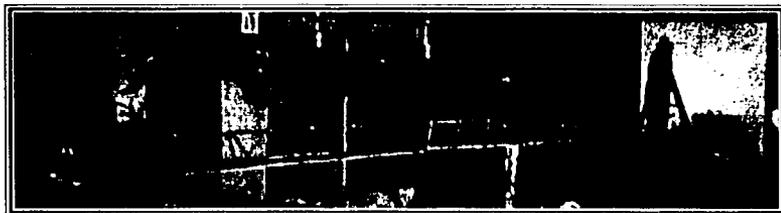


FIGURA 2.5. VISTA GENERAL DE LA OBRERA DE LA LOSA DE LA PLANTA 1

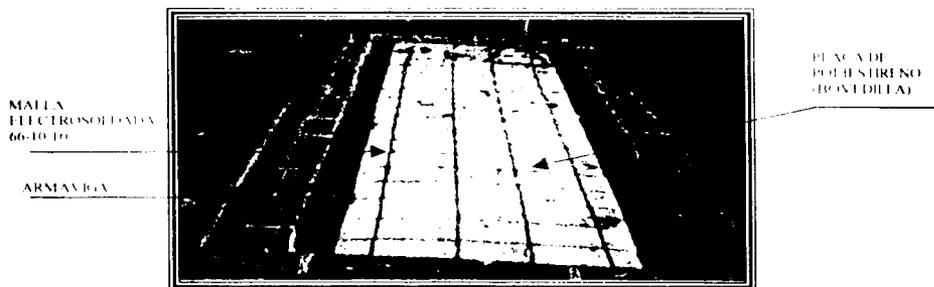


FIGURA 2.6. VISTA GENERAL ANTES DE APLICAR EL CONCRETO

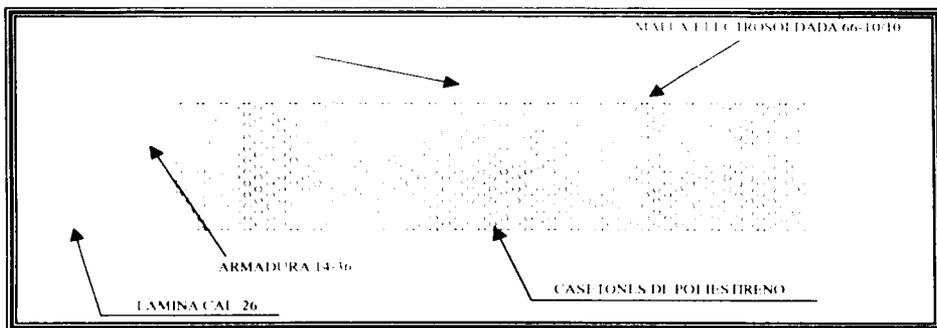


FIGURA 2.7. CORTE TRANSVERSAL DE LOSA ARMADURA

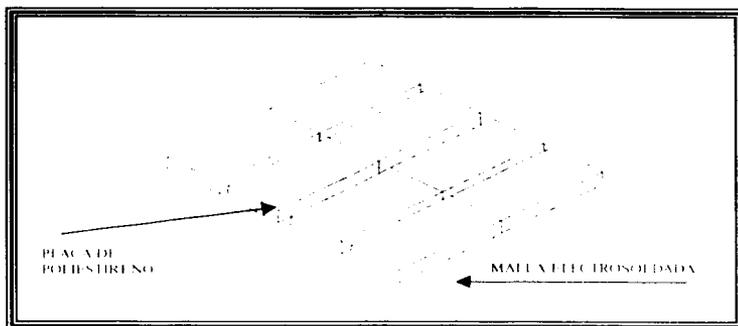


FIGURA 2.8 COLOCACIÓN DE MALLA ELECTROSOLDADA (AL RECORTE TEMPERATURA)



FIGURA 2.9 ENSAMBLAJE DE UNA ARMADURA

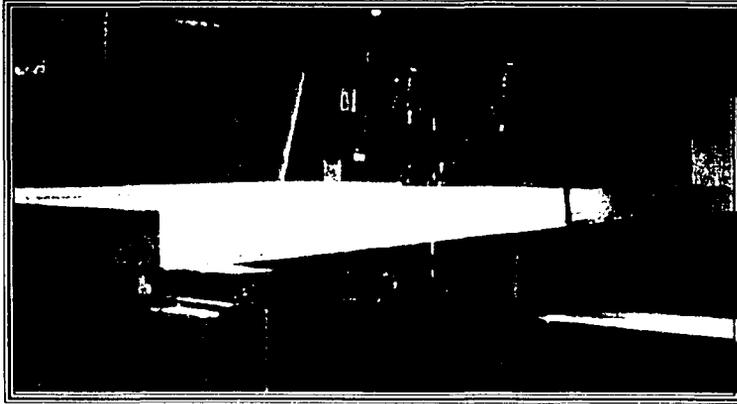


FIGURA 2 10 COLERA AL TRINEL DEL PARA DISTRIBUIR LA CARGA AL CENTRO DE LA CASA ARMAZIGA

CAPÍTULO 3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

3.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD EFECTIVA DE PANDEO DEL SISTEMA ARMAVIGA

La separación entre apuntalamientos temporales en los sistemas de losa vigueta-bovedilla depende de la capacidad de la vigueta para resistir el peso del concreto fresco más una carga viva, correspondiente al peso de las personas que se encuentran realizando el colado de la losa

Para determinar la separación entre apuntalamientos es necesario analizar la vigueta para determinar su resistencia cuando se ha colado el concreto y aun permanece fresco

Para realizar el análisis se ha considerado que el peso del concreto fresco se concentra en los nodos de la armadura tal y como se muestra en la fig. 3.1. Se observa que el valor de "p" depende del volumen de concreto que se encuentra delimitado por el área sombreada y el espesor de la losa

Por lo tanto en cierta forma la separación entre apuntalamientos temporales dependerá de la cantidad por metro lineal de concreto fresco que este soportando la vigueta

Para una condición simplemente apoyada de la vigueta las barras superiores se encontrarán trabajando a compresión, al estar trabajando a compresión las mismas fallarán por pandeo, ya que la carga de pandeo es menor a la fuerza axial de tensión que puede soportar una barra esbelta

Las pruebas de laboratorio son una herramienta muy útil para el Ingeniero Civil, ya que ahí es donde se corroboran las teorías e hipótesis propuestas

Para el diseño de este sistema de losa, fue necesario conocer el comportamiento de las armaduras de acero de alta resistencia, con diversos claros, apoyadas en dos extremos con el fin de someterlas a la falla para conocer su resistencia sobre todo en la barra superior de la armadura que es donde falla primero a compresión debido al pandeo de la misma, así como su deformación en el momento de la falla.

Los tramos a seleccionar fueron de 80, 120, 160, 280, 600 centímetros

Los especímenes se apoyaron a la distancia respectiva sobre apoyos articulados, según se muestra en la figura 3.2

Una vez apoyados los especímenes, como se muestra en la figura anterior, se instrumentó con el SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (S.A.D.) utilizando un marco de carga (figura 3.4), una celda de carga (figura 3.7), así como dos LVDT's (deformímetros) (figura 3.8), colocados al centro del claro para obtener datos más precisos (figura 3.3)

Más adelante se desarrollará el cálculo teórico de la resistencia de las armaduras, para posteriormente comparar dichos datos con los obtenidos en las pruebas de laboratorio. A continuación se describe brevemente el sistema de Adquisición de Datos, el cual consiste básicamente de una celda de carga fig. 3.7, la cual registra mediante una diferencia de potencial, la carga aplicada sobre ella. Cabe señalar que la celda de carga

cuenta con una mayor exactitud en sus mediciones, por lo que se tiene mayor precisión en la lectura con respecto a otros sistemas (deformímetros de carátula, etc).

También tiene dos LVDT'S los cuales registran las deformaciones en un cierto punto. Con la utilización de estos, se obtiene una mayor precisión en las lecturas de las deformaciones con respecto a otros sistemas. Figura 3.9

Cuenta también con un **módulo de interconexión**, al cual se conectan los LVDT'S y la celda de carga. Figura 3.9

Adicionalmente se utiliza el programa **OSCAR 3** el cual registra automáticamente la adquisición de datos en un ensayo, reduciendo o eliminando el error humano que se produce al tomar las lecturas de los instrumentos de medición. Figura 3.10

Este programa genera un archivo de resultados, lo que hace el manejo de la información todavía más sencilla, ya que se puede trabajar en una hoja de excel para generar las curvas de carga vs. deformación ó esfuerzo vs. deformación, y tener una interpretación más precisa de esta. (Ver anexo 1)

Para determinar la separación del apuntalamiento que debe tomar esta vigueta es necesario determinar la carga crítica de pandeo para la barra superior de la armadura, y relacionarla con la carga crítica de una barra articulada en sus extremos, por medio del concepto de longitud efectiva.

La carga crítica para una columna esbelta con extremos articulados fue descrita por Euler en 1744, la cual es calculada mediante:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde:

P_{CR} = carga crítica para una barra con extremos articulados

π = 3.1416

E = Modulo de elasticidad del concreto

I = Momento de inercia de la sección de la barra

Para una barra con diferente condición de apoyo en sus extremos la carga crítica está relacionada por medio del concepto de longitud efectiva.

Dicha longitud es la correspondiente distancia entre los puntos de inflexión de la barra por lo tanto la carga resulta:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

El valor de K se determinó mediante ensayos realizados a diversas armaduras variando los claros, utilizando el Sistema de Adquisición de Datos (SAD) antes descrito (Ver Capítulo Pruebas y Resultados de Laboratorio), cuyos resultados se muestran en la tabla No.3.1, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación (ver figura 3.11):

$$M = \frac{P_{lab} L}{4} = F_c Z \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\Rightarrow F_c = \frac{M}{Z} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \Rightarrow K = \frac{\pi^2 EI}{L^2 (P_{cr})}$$

$$P_{cr} = F_c \Rightarrow K = \frac{\pi^2 EI}{L^2 (F_c)} \dots \dots \dots (3.5)$$

donde:

- M = Momento máximo de la armadura
- P_{lab} = Carga máxima obtenida en laboratorio
- L = Claro de la armadura
- F_c = Fuerza crítica en la barra superior debida a la carga P
- Z = Distancia vertical del centro de la barra inferior al centro de la superior
- K = Factor para determinar la longitud efectiva de pandeo

Prueba No.	L (cm)	Pmax lab.(kg)	M (kg-cm)	Fc (kg)	K
1	80	330.04	6.600.80	471.49	0.90
2	80	290.34	5.806.80	414.77	0.96
3	120	239.18	7.175.40	512.53	0.87
4	120	229.4	6.882.00	491.57	0.88
5	120	237.56	7.126.80	509.06	0.87
6	120	240.92	7.227.60	516.26	0.86
7	160	171.3	6.852.00	489.43	0.89
8	160	172.05	6.882.00	491.57	0.88
9	280	96.56	6.759.20	482.80	0.89
10	600	32.58	4.887.00	349.07	1.05

K =	0.90
-----	------

TABLA 3.1 Cálculo del factor de longitud efectiva de pandeo

Una vez determinado el valor de K se calcula la fuerza a compresión crítica de la barra superior con los siguientes datos:

Diámetro de la barra superior = 0.65 mm

Longitud de la barra = 20 cm

Resultando:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{3.1416^2 (2 \times 10^6) (0.0078)}{[(0.90)(20)]^2}$$

$$P_{cr} = 475.2 \text{ kg}$$

El valor de la carga crítica se multiplicó por un factor de reducción de resistencia. El cual es considerado 0.85, por lo que el valor de la carga a compresión de la barra se considera de:

$$P = 475.2(0.85)$$

$$P = 403.9 \text{ kg}$$

A continuación se determinará la separación entre apuntalamientos temporales, por medio del modelado de la vigueta en el programa de análisis estructural SAP2000.

En primer lugar se determinará la carga concentrada en el nodo de la armadura considerando el corte transversal mostrado en la fig. 3.1.

Para una losa cuyo peso propio es de 115 kg/m²

y considerando una carga viva de 120 kg/m²

Total = 235 kg/m²

$$235 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} (0.75 \text{ m}) = 176.26 \frac{\text{kg}}{\text{ml}}$$

$$176.26 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \left(\frac{1 \text{ ml}}{100 \text{ cm}} \right) = 1.76 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

La carga concentrada en el nodo de acuerdo a la fig. 3.1 es igual a:

$$2P = 20\text{cm}(1.76 \frac{\text{kg}}{\text{cm}})$$

$$2P = 35.2\text{kg}$$

$$P = 17.6\text{kg}$$

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE APUNTALAMIENTO PARA EL SISTEMA ARMAVIGA

Para determinar la separación entre los apoyos temporales se modelará la armadura en el programa de análisis estructural SAP2000 aplicando la carga concentrada "P" en los nodos de la armadura

Se partirá de una separación entre los apoyos inicial, donde se analizará la armadura para localizar la barra que está sometida a la fuerza axial de compresión mayor, si la fuerza axial de compresión es mayor que la carga de compresión máxima que puede soportar la barra, se variará la separación entre los apoyos temporales, hasta encontrar la separación a la cual la fuerza axial a compresión en la barra superior es menor o igual a la carga máxima de compresión

Sin apoyos temporales.

Para la condición de un solo claro se obtuvieron los siguientes resultados de el análisis. Primer análisis con una separación entre apuntalamientos de 1.60 m. Ver figura 3.12. Se puede observar que la fuerza axial a compresión en las dos barras superiores centrales es igual a 402.11 kg < 403.9 kg por lo tanto la separación entre apuntalamientos es de 1.60 m

Para un apoyo temporal intermedio.

Para la condición de un apoyo temporal intermedio ver figura 3.13. Se puede observar en la figura 3.13 que la fuerza axial a compresión máxima de la barra superior es igual a 369.34 kg < 403.9 kg por lo tanto la separación entre apoyo y apoyo es de 2.0 m

Para dos apoyos temporales intermedios ver Figura 3.14

Se puede observar en la figura 3.14 que la fuerza axial a compresión máxima de la barra superior es igual kg 339.79 < 403.9 kg por lo tanto la separación entre apoyo y apoyo es de 1.80, 2.40, 1.80 m

3.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE APUNTAMIENTO DE LA VIGUETA ARMAVIGA

Al comparar la vigueta propuesta en el presente trabajo con las actualmente existentes en el mercado se observa que

Son más ligeras ya que el peso de la vigueta propuesta es de aproximadamente 3 kg/ML comparadas con las que actualmente existen en el mercado cuyo peso aproximadamente es de 15 kg/ML para una vigueta de alma abierta Y DE 27 ó más kg/cm³ para las vigas presforzadas

Se elimina el patin de concreto que sirve de soporte para las bovedillas, al eliminar el patin de concreto se obtiene una viga menos frágil durante el manejo de la mismas

A diferencia de las viguetas existentes en el mercado a las cuales se les agrega el acero adicional en el patin que está colado en las viguetas, el acero la vigueta propuesta se coloca en el lugar de la obra de acuerdo a las recomendaciones del fabricante

El peso de una losa cuyo peralte es de 18 cm y con una capa de compresión de 3 cm es de aproximadamente 115 kg/m² utilizando bovedillas de poliestireno expandido, a manera de comparación las losas planas de concreto con espesor de 10 cm tienen un peso de 240 kg/m².

En la etapa del proceso constructivo se propone que los techos fabricados con estos sistemas necesitan de apoyos temporales, ya que se alcanza su resistencia máxima cuando el concreto colado en obra alcanza su f'c de diseño, la separación entre apoyos propuesto es de

- I. Para un solo claro, la separación máxima es de 1.60 m
- II. Para dos claros, la separación máxima entre apoyos temporales es igual a 2m.
- III. Para claros continuos el primer apoyo y el último se colocarán, con un claro máximo de 1.80 m y los intermedios con una separación de 2.40 m.

3.4 FABRICACIÓN DE LAS LOSAS PARA PRUEBAS

En Lo que sigue, se describe el procedimiento empleado para la elaboración de las losas, así como la forma en que fueron instrumentadas para la realización de las pruebas en el laboratorio. Describiremos en forma general la secuencia de prueba, para después detallar cada una de las losas instrumentadas en el laboratorio de materiales.

Descripción general del ensaye

Para realizar un ensaye del sistema propuesto para losas aligeradas, se requirió de los materiales que se listan en el capítulo II, el concreto se diseñó con el método ACI (ver anexo 3). El acero adicional fue variable, según el claro de la losa, y su diseño se detalla en el capítulo V.

Una vez teniendo los materiales necesarios, se procedió a la construcción de las losas que se instrumentaron con el SAD, para determinar su resistencia real y su deformación.

Se requirieron de los siguientes materiales:

- ✘ ARMAVIGA
- ✘ Alambre recocido cal 16
- ✘ Lámina calibre 26
- ✘ varilla de 3/16" ($f_c=6,000 \text{ kg/cm}^2$)
- ✘ Varilla $f_c=4,200 \text{ kg/cm}^2$ según claro de losa
- ✘ Cemento
- ✘ Arena
- ✘ Grava de 1/2" (T.M.A.)
- ✘ Polines 4x4"
- ✘ Agua

PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LOSA

Paso 1

Para la fabricación de la ARMAVIGA, se necesita de una armadura electrosoldada y de un patín a base de lámina calibre 26

Se cortó cada una de las hojas de lámina cal. 26 (1.22x2.44m) en 5 tiras, que posteriormente con la ayuda de una dobladora, se le dio la forma presentada en la fig. No. 2.1.

Paso 2

Aunque el objetivo era electrosoldarla, en este estudio se unió la lámina con la armadura utilizando soldadura tradicional, esto es conservador, ya que en un proceso de electrosoldadura la fusión entre los componentes está controlada. Esto es, los resultados serán mejores en el caso de que se electrosoldaran los componentes.

Paso 3

Se tienen tramos de ARMAVIGA de 6.0 m de longitud las cuales se cortaron según el claro de la losa (figura 3.15), de la siguiente forma:

Losas de 6.0 m: un tramo de 3 m de longitud por cada lado de la losa, haciendo el traslape al centro, lo cual en un proceso industrial no se hace; esto también es, para efectos de la seguridad, del lado conservador, por lo que los resultados si se hacen los tramos continuos serán mucho mejores.

Losas de 4.5 m un tramo de 1.5 m más un tramo de 3.0 m

Losas de 3.0 m un tramo de 3.0 m

Paso 4.

Se colocan los tramos de ARMAVIGA paralelamente entre si a una distancia de 60 cm.

Paso 5

Se colocaron los casetones de poliestireno expandido entre los tramos de ARMAVIGA, procurando que apoyaran sobre la lamina inferior de la ARMAVIGA. Figura 3.16.

Paso 6.

Se extiende la malla electrosoldada 66-10/10 sobre los tramos de ARMAVIGA y se corta a la medida requerida, de tal forma que toda la superficie quede cubierta con la malla, Posteriormente se amarra con alambre recocido cal 16 a cada 32 cm (a cada dos cuadros de la malla) Fue necesario para su transporte, la elaboración de unos ganchos, colocados a una distancia de 1.40 m de cada uno de los extremos de la losa

Paso 7.

Se elaboró el concreto siguiendo el método ACI, el cual se describe en el Anexo 3. Los resultados del proporcionamiento para una mezcla de concreto con una $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ requieren de los siguientes materiales en ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) para una mezcla de concreto con un $f'_c =$

200 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$:

agua -----	230.00
cemento-----	114.33
grava -----	334.08
arena-----	296.58

Paso 8.

Se calculó la cantidad de concreto a elaborar para cada una de las losas.

Paso 9.

Una vez elaborado el concreto, en una revolvedora de 1.5 m^3 se llevó en botes y/o palas y se vació sobre el molde formado por la ARMAVIGA y los casetones de poliestireno expandido. Figura 3.17

Paso 10.

Haciendo uso de una varilla, se procura que todo el concreto llegue a todos los huecos de las armaduras. Nota en la foto podemos observar que está sobre la malla y el poliestireno, para lo cual se recomienda el uso de una tabla, para distribuir el peso y no sea causa de

accidente en obra, y además no incremente la capa de compresión de las losas. Figura 3.18 y 3.19

Paso 11.

Con la ayuda de una regla de madera, se enrasa la superficie de la losa, cubriendo toda la longitud de esta, asegurando una capa de compresión uniforme que en este caso, fue de 3.0 cm.

Paso 12.

Es necesario efectuar un curado adecuado de las losas ya coldas. Se realizó a base de agua, por 14 días, ya que se agregó un aditivo acelerante.

Paso 13.

Una vez terminadas la losas, se procedió a trasladarlas hasta los apoyos del marco de carga, como se muestra en la figura 3.20.

Paso 14.

Posteriormente se instrumentaron y ensayaron las losas siguientes:

CANTIDAD	CLARO DE LOSA (m)
2	3.0
2	4.5
2	6.0

TABLA 3.2

Utilizando el sistema de adquisición de datos, así como dos rieles de acero colocados al centro de la losa, con el fin de distribuir la carga en todo lo ancho de la misma, se comenzó a registrar la carga y la deformación, observando el comportamiento del sistema de losa, describiéndose el comportamiento de cada una de ellas a continuación. Figura 3.21.

Como se podrá juzgar de la pares 4.5 y 6.0 m, se hicieron detalles que van en contra de la resistencia del sistema y que tendrán como objetivo generar condiciones muy desfavorables al sistema, que difícilmente se tendrán durante el proceso industrializado y en obras con supervisión adecuada.

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DEL SISTEMA DE LOSA ARMAVIGA

ENSAYE 1. LOSA L=3.0 m.

En este caso, no hubo más acero adicional que la lámina cal. 26. El armado quedó como se muestra en la figura 3.22.

Antes de comenzar el ensaye se realizaron pruebas de compresión en 2 cilindros de concreto, obteniéndose un resultado promedio $f'_c = 195.6 \text{ kg/cm}^2$.

Adicionalmente, se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada. Estos datos se pueden consultar en el anexo No. 3 de este trabajo. Debido al proceso constructivo de la losa, no fue posible dejar una contraflecha en ésta. Sin embargo, al observarse el hilo colocado horizontalmente en ambos lados del claro de losa, coincidía prácticamente la horizontal del hilo con la horizontal de la parte inferior de la losa; esto es, por peso propio casi no se deformó la losa.

Para esta prueba se deshabilitó uno de los actuadores del marco de carga, para centrar el otro con respecto al ancho de la losa y distribuirla utilizando una barra de acero y un riel, que representan un peso de 29.50 kg y 30.45 kg, respectivamente.

Se colocó una barra de acero al centro del claro, con un cartón en la parte inferior, con el fin de lograr una distribución más uniforme de la carga sobre la losa, posteriormente se colocó un tramo de riel sobre la barra de acero antes mencionada, esto con el fin de acercarlo lo más posible a la aplicación de la carga a los actuadores ante la limitación de la carrera de los gatos. Enseguida se colocó la celda de carga entre la rótula del actuador y el riel, de forma tal que quedara centrado, moviendo la losa en caso de ser necesario. Ver Figura 3.27

Se colocaron los LVT's en la parte superior de la losa, al centro del claro, uno a cada lado, procurando que quedaran en el centro de cada nervadura, que para este caso el ancho fue de 9 cm para ambas nervaduras, entonces los LVD's se colocaron a 4.5 cm del paño exterior de la mismas. Una vez instrumentada la losa, se midió la deformación debida al peso del riel, de la barra de acero y de la celda de carga, observando el hilo respecto a una marca inicial que se hizo antes de colocar cualquier objeto sobre ésta. El hilo quedó prácticamente en marca inicial.

Posteriormente, se procedió a probar el equipo con el que se registrarán los datos de carga contra deformación.

Los resultados de la instrumentación con el sistema de adquisición de datos fueron los siguientes:

No se observó flecha alguna por peso propio. Se pesaron previamente los rieles, así como la celda de carga, para sumarlo a la carga aplicada sobre la losa.

Se colocó un hilo horizontalmente, para medir las deformaciones físicamente con un flexómetro.

Se comenzó a registrar la deformación, después de colocados los rieles y celda de carga, registrando con el sistema de adquisición de datos a cada 50 kg aproximadamente. En la primera etapa del ensaye, se aplicó una carga a velocidad constante hasta los 758 kg, que transformados a carga por metro cuadrado equivalen a 323.93 kg/m^2 (dividiendo entre el área de la losa) y 647.86 kg/m^2 (igualando momento para carga distribuida con momento para carga concentrada) Durante esta etapa, no hubo aparición alguna de fisuras dentro del tercio del claro de la losa. Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación de 0.38 cm que se registraron con el Sistema de Adquisición de Datos (SAD) Verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 300/240$, se tienen 1.75 cm de deformación permisible, por lo que cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Posteriormente se quitó carga hasta llegar a los 300 kg

Durante la segunda etapa del ensaye, que consistió en incrementar la carga a una velocidad constante al centro del claro de la losa, hasta llegar a una carga de 1,729 kg, que transformados a carga por metro cuadrado equivalen a 738.89 kg/m^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados se tiene $1,477.78 \text{ kg/m}^2$. En esta fase aparecieron pequeñas fisuras a los 1,300 kg dentro del tercio medio del claro de la losa. Enseguida, se procedió a descargar completamente la losa hasta llegar al estado inicial. Cabe mencionar que el incremento de deformaciones antes y después de la aplicación de la carga fue de 0.5 cm medido con el hilo y la marca de la losa, mientras que la registrada por el Sistema de adquisición de datos fue de 0.46 cm, lo que nos indica casi una recuperación total al estado inicial de la losa

La siguiente etapa del ensaye, consistió en incrementar la carga sobre el centro del claro de la losa, hasta provocar la falla de ésta, la cual fue a una carga de 2,638 kg. Se comenzaron a formar grietas bajo una carga de 2,200 kg en la zona de tensión al centro del claro, para posteriormente "tronar" bajo una carga 2,600 kg, sin embargo se continuó aplicando carga hasta los 2,638 kg donde volvió a tronar, esta vez del lado contrario de donde tronó por primera vez la losa, empezando a ceder en las deformaciones, registrándose un incremento de deformaciones entre la carga última (2,638 kg) y la carga con la que quedó estable (1,192 kg) de 0.68 cm. En cuanto a la lámina, se observó un pequeño corrimiento en la zona de unión entre ésta y la armadura. En su parte superior en la zona central del claro, se apreciaba un descascamiento de la capa de compresión corriendo a todo su ancho. Debajo del riel de acero, y en el costado de la losa justo al centro de ésta, se observó la falla del concreto por aplastamiento. Cabe mencionar que para este nivel de carga, transformándose a carga por metro cuadrado se tienen $1,127.35 \text{ kg/cm}^2$ mientras que igualando momento para carga distribuida con momento para carga concentrada se tiene $2,254.70 \text{ kg/m}^2$ y en cuanto a la deformación obtenida con el sistema de adquisición de datos, esta fue de 4.40 cm. Cabe mencionar que este último valor, fue registrado al momento de llegar a la falla, por lo que no es la mayor deformación, la cual fue de 5.08 cm registrados con el SAD bajo una carga de 1,908.95 kg. Las grietas por flexión formadas en esta última etapa del ensaye fueron de aproximadamente 0.5 cm de espesor. Posteriormente, se observó que el acero inferior de la armadura, llegó a la falla, en este caso fueron dos varillas de la armadura, una de cada lado.

La curva carga – deformación, se muestra en la figura 3.23

ENSAYE 2 $L = 3.0 \text{ m}$

En este caso, tampoco hubo acero adicional. El armado quedó como se muestra a como se muestra en la Figura 3.24.

Adicionalmente, se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada. Estos datos se pueden consultar en el anexo No. de este trabajo. Debido al proceso constructivo de la losa, no fue posible dejar una contraflecha en ésta

Se llevó a cabo el procedimiento de instrumentación y ensaye, similar al de la losa 1

Se dio inicio al ensaye, aplicando carga a velocidad constante hasta un valor de 1,000 kg, observándose la formación de pequeñas fisuras sobre ambos costados de la losa, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 427.35 kg/m^2 . Mientras que igualando el momento por carga concentrada con momento por carga distribuida se tienen 843.02 kg/m^2 . Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación en el hilo de aproximadamente 0.50 cm contra los 0.39 cm que se registraron con el sistema de adquisición de datos (SAD), y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 300/240$, se tienen 1.75 cm de deformación permisible, por lo que cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Posteriormente se procedió a quitar la carga a velocidad constante hasta un valor de 200 kg, para posteriormente aplicar una fuerza sobre en centro de la losa hasta de un valor de 2,000 kg. En esta segunda fase del ensaye, se observó la formación de fisuras adicionales a las ya existentes. Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación en el hilo de aproximadamente 1.30 cm contra los 1.36 cm que se registraron con el sistema de adquisición de datos (SAD), que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 854.70 kg/m^2 , mientras que igualando el momento por carga concentrada con el momento por carga distribuida es $1,683.50 \text{ kg/m}^2$ y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 300/240$, se tienen 1.75 cm de deformación permisible, por lo que aún cumple con el Reglamento para este nivel de carga.

En la última fase de este ensaye, que consistió en aplicar carga a velocidad constante hasta la falla y fue de 2,602 kg equivalente a $1,111.97 \text{ kg/cm}^2$ mientras que igualando el momento por carga distribuida con el momento por carga concentrada es $2,190.24 \text{ kg/m}^2$. Durante esta fase, a los 2,300 kg se formaron grietas de flexión dentro del tercio del claro de la losa siendo de tamaño considerable a los 2,500 kg, y al llegar a los 2,600 kg tronó el acero inferior de la armadura, por lo que se dejó de aplicar carga, quedando estable bajo una carga de 1,750 kg leyendo una deformación con el hilo de 4.8 cm, mientras que con el sistema de adquisición de datos se registró una deformación de 3.69 cm hasta antes del tronido, mientras que la deformación registrada posterior al tronido cuando quedó estable la losa fue de 4.84 cm. Las grietas por flexión formadas en esta etapa, fueron de aproximadamente 0.5 cm de espesor. Figura 3.25

La curva carga - deformación se muestra en la figura 3.26

ENSAYE 3 L = 4.5 m

En este caso, el acero adicional fue de 1.99 cm^2 en grado 4,200 (1 varilla # 5) El armado quedó como se muestra a como se muestra en la Figura 3.27.

Adicionalmente, se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada. Estos datos se pueden consultar en el anexo No. de este trabajo. Para esta losa, se dejó una contraflecha de 2.4 cm. Una vez descimbrada, unos momentos antes de iniciar la primera etapa de este ensaye, se midió nuevamente la contraflecha, la cual fue de 2.1 cm.

Se dio inicio al ensaye, aplicando carga a velocidad constante hasta un valor de 4,100 kg, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 1,168.09 kg/m², mientras que igualando momento por carga concentrada con momento por carga distribuida es 3,504.27 kg/m², adicionalmente se registraba una deformación de 5.50 cm con el Sistema de Adquisición de Datos (SAD), observándose la formación de grietas entre los 3,600 kg y los 3,900 kg sobre ambos costados de la losa. Cabe mencionar que para estos niveles de carga se obtuvieron lecturas de la deformación en el SAD de 3.48 cm y 5.13 cm, respectivamente y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es 0.5 + 450/240, se tienen 2.3/5 cm de deformación permisible, por lo que no cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Sin embargo, a los 2,700 kg de carga, que transformándola a carga por metro cuadrado es 769.23 kg/cm², mientras que igualando el momento por carga concentrada con el momento por carga distribuida es 1,538.46 kg/m², se tuvo una deformación de 2.36 cm, que descontando la contraflecha de 2.10 cm se tienen 0.26 cm al centro del claro de la losa, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es 0.5 + 450/240, se tienen 2.375 cm de deformación permisible, por lo que aún cumple con el Reglamento para este nivel de carga. La carga máxima aplicada al centro de la losa fue de 4,077 kg con una deformación de 3.1cm respecto a la horizontal (5.20 cm - 2.10 cm de contra-flecha) registrada por el SAD.

Bajo una carga de 4,077 kg, tronó una de las barras inferiores de la armadura, y empezó a ceder en las deformaciones, quedando estable bajo una carga de 1,622 kg. Observándose un corrimiento entre la lámina y la armadura en la parte de la soldadura, mientras que se observaron grietas por flexión en el tercio del claro, así como un descascamiento de la capa de compresión del concreto al centro del claro de la losa.

La curva carga - deformación se muestra en la figura 3.28

ENSAYE 4 L = 4.5 m

En este caso, el acero adicional fue de 1.99 cm² (1 varilla # 3 + 1 # 4). El armado quedó como se muestra a como se muestra en la figura 3.29

Se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada de estas. Para esta losa, se dejó una contraflecha de 2.4 cm. Una vez descimbrada, unos momentos antes de iniciar la primera etapa de este ensaye, se midió nuevamente la contraflecha, la cual fue de 2.0 cm.

Se dio inicio al ensaye, aplicando carga a velocidad constante hasta un valor de 4,089 kg, en donde se presentó la falla por penetración, observándose una perforación sobre la superficie de compresión de la losa en uno de los extremos del riel, así como la formación de grietas sobre ambos costados de la losa, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 1,1164.96 kg/m². Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación en el hilo de aproximadamente 5.52 cm contra los

5.39 cm que se registraron con el sistema de adquisición de datos (SAD), y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 450/240$, se tienen 2.375 cm de deformación permisible, por lo que no cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Posteriormente se quitó la carga completamente y se instrumentó de nuevo la losa, esto es, se ajustaron los LVD's y se inició el programa de computadora, ya que se desajustaron cuando se presentó la falla por penetración sobre la losa. Esto para ajustar la celda de carga, así como los LVD's y que se pudieran registrar la carga y deformación máximas de la losa. Una vez probado el equipo nuevamente, se procedió a incrementar la carga a una velocidad constante hasta un valor de 3,272 28 kg, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 932.27 kg/m^2 , mientras que igualando el momento por carga concentrada con el momento por carga distribuida se tiene $1.864.55 \text{ kg/m}^2$. En esta segunda fase del ensaye, se observó la formación de fisuras adicionales a las ya existentes y alcanzando una deformación total de 5.76 cm que restando el valor de la contraflecha, se tiene 3.66 cm. Se procedió a descargar nuevamente, hasta el estado inicial de la losa. Se observa una descarga aproximadamente lineal en esta etapa del ensaye.

En la tercera fase del ensaye, se aplicó carga hasta llegar a los 4,110 kg, cuya deformación medida al centro del claro fue de 6 cm respecto a la horizontal.

En la cuarta y última fase del ensaye, se descargó nuevamente la losa hasta su estado inicial. Posteriormente se incrementó a una velocidad constante la carga hasta los 4,460 kg, valor en el que el acero de la armadura tronó, obteniéndose una deformación de 7.6 cm respecto a la horizontal. Figuras 3.30 a 3.33.

ENSAYE 5. L = 6 0 m

En este caso, el acero adicional fue de 3.98 cm^2 . (2 varilla # 3 + 2 # 4). El armado quedó como se muestra a como se muestra en la figura 3.34.

También se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada de estas. Para esta losa, por el proceso constructivo no se dejó contraflecha. Una vez colocada sobre los apoyos del marco de carga, se midió la deformación por peso propio, siendo esta de 1.5 cm. Después de 3 semanas, se inició el ensaye, midiéndose nuevamente la deformación al centro del claro de la losa, obteniéndose una deformación respecto a la horizontal de 2.8 cm, implicando que hubo un incremento de deformación de 1.3 cm durante este periodo de tiempo.

Se dio inicio al ensaye, aplicando carga a velocidad constante hasta un valor de 1,450 kg, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 306.29 kg/m^2 , mientras que igualando el momento por carga distribuida con el momento por carga concentrada es 612.59 kg/m^2 . Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación en el hilo de aproximadamente 3.10 cm contra los 2.70 cm que se registraron con el sistema de adquisición de datos (SAD), y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 600/240$, se tienen 3.0 cm de deformación permisible, por lo que cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Posteriormente se quitó la carga completamente y se procedió a incrementar la carga a una velocidad constante hasta un valor de 1,900 kg, equivalentes a 401.35 kg/m^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados es 802.70 kg/m^2 , pero teniendo una deformación en esta ocasión de 3.8 cm registrados con el SAD lo cual excede las deformaciones máximas permisibles según el R C D F. Cabe señalar, sin embargo, que para una carga de 1,663 kg, equivalente a 351.29 kg/cm^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados se tiene 702.58 kg/m^2 , se registró una deformación con el SAD de 3.0 cm, que está dentro del límite permisible de deformaciones del R C D F. Se procedió a descargar nuevamente, hasta el estado inicial de la losa. Se observa una descarga aproximadamente lineal en esta etapa del ensaye, así como una recuperación total al estado inicial en cuanto a la deformación. En la segunda fase del ensaye se procedió a incrementar la carga a una velocidad constante hasta los 1,900 kg, equivalentes a 401.35 kg/cm^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados se tiene 802.70 kg/m^2 , registrándose una deformación con el SAD de 3.8 cm, valor que excede la deformación permisible del R C D F.

En la tercera fase del ensaye, se aplicó carga a una velocidad constante hasta llegar a los 2,100 kg, que transformados se carga distribuida se tienen 443.60 kg/m^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados se tiene 887.2 kg/m^2 , cuya deformación medida al centro del claro fue de 4.35 cm respecto a la horizontal, mientras que el SAD registró una deformación de 4.40 cm. Se descargó nuevamente la losa hasta su estado inicial. Cabe mencionar que no se recuperó totalmente en esta descarga, ya que al llegar al estado inicial, se midió una deformación de 0.9 cm respecto a la horizontal, mientras que con el SAD se registraron 0.6 cm.

En la cuarta fase del ensaye, se incrementó la carga a velocidad constante, hasta los 2,000 kg, midiendo una deformación con el SAD de 4.4 cm. Se procedió a descargar completamente la losa, observándose que recuperó casi totalmente su estado inicial en esta descarga, ya que al llegar al estado inicial, se midió una deformación de 0.9 cm respecto a la horizontal, mientras que con el SAD se registraron 0.75 cm.

En la quinta fase del ensaye, se procedió a incrementar la carga hasta los 3,600 kg, registrándose una deformación de 8.9 cm registrados con el hilo, y 6.2 cm registrados con el SAD. Observándose la formación de grietas por flexión en la unión de las armaduras, esto es al centro del claro de la losa

Cabe mencionar que debido a la carrera de los actuadores del marco de carga, no se pudo llevar a la falla la losa.

La curva carga - deformación se muestra en la figura 3.35.

ENSAYE 6. L = 6.0 m

En este caso, el acero adicional fue de 3.98 cm^2 (2 varilla # 3 + 2 # 4). El armado quedó como se muestra a como se muestra en la figura 3.36.

También se colocó un hilo horizontalmente, con el fin de apreciar mejor las deformaciones y tener una medida aproximada de estas. Para esta losa por el proceso constructivo no se dejó contraflecha. Una vez colocada sobre los apoyos del marco de carga, se midió la deformación por peso propio, siendo esta de 1.08 cm. Después de colocar el riel y celda de carga, se midió 1.60 cm de deformación.

Se dio inicio al ensaye, aplicando carga a velocidad constante hasta un valor de 3,502 kg, que transformada a carga por metro cuadrado, equivale a 729.58 kg/m^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados es $1,459.16 \text{ kg/m}^2$. Cabe mencionar que para este nivel de carga se obtuvo una lectura de la deformación en el hilo de aproximadamente 3.0 cm contra los 5.8 cm que se registraron con el sistema de adquisición de datos (SAD), y verificando las deformaciones máximas permisibles, que para el caso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal es $0.5 + 600/240$, se tienen 3.0 cm de deformación permisible, por lo que no cumple con el Reglamento para este nivel de carga. Sin embargo, para una carga de 1,403 kg, equivalentes a 292.29 kg/m^2 , mientras que igualando los momentos antes mencionados es 584.59 kg/m^2 , se tiene una deformación medida con el SAD de 3.0 cm, lo cual está dentro de la deformación permisible por el R.C.D.F. Durante esta etapa del ensaye, se observó la formación de grietas a los 3,200 kg en el centro del claro de la losa, donde se unieron las dos armaduras, dándoles continuidad con barras de $3/16"$ de diámetro de acero de alta resistencia. Cabe mencionar que debido a la carrera de los actuadores del marco de carga, no se pudo llevar a la falla la losa.

La curva carga - deformación se muestra en la figura 3.37.

En la tabla 3.2 se muestra un resumen de las cargas resistidas por las losas a varios niveles de deformación, así como la resistencia teórica de acuerdo al Capítulo IV.

Ensaye No	Def. 1 (Para un nivel de deformación de L/240+0.5+2.00)	Plab (kg) para Def.1	Wa (kg/m ²) para Def.1	Wm (kg/m ²) para Def.1	Resistencia max obtenida en laboratorio (kg)	Resistencia max Calculada (kg)
1	3.75	2,559.69	1,093.88	1,706.46	2,640.00	2,326.00
2	3.75	2,601.24	1,111.64	1,734.16	2,602.00	2,383.00
3	4.38	3,799.27	1,082.41	1,688.56	4,077.00	3,816.00
4	4.38	3,957.41	1,127.47	1,758.85	4,190.00	4,133.00
5	5.00	2,364.24	505.18	788.08	3,429.00	3,935.00
6	5.00	2,182.75	466.40	727.58	3,538.00	4,228.00

Tabla 3.3 Resistencia de Losas

Para los cálculos de las losas se utilizaron los siguientes valores:

$E = 110,538 \text{ kg/cm}^2$ (Obtenido de prueba)

$f'_c = 195.6 \text{ kg/cm}^2$ (Obtenido de prueba)

$F_R = 1.0$

F.C. = 1.0

Mientras que las calidades del acero utilizado, al realizar los ensayos a tensión del mismo, fueron los siguientes:

VARILLA No.	f_y (kg/cm ²)
3	4,378.95
4	4,055.12
5	5,276.38

TABLA 3.3 Calidad de acero obtenido en laboratorio

3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar la tabla 3.3, podemos decir que el método de cálculo para determinar la resistencia del sistema de piso aligerado es correcto. Lo que implica que la lámina soldada en la parte inferior de la armadura, si aporta resistencia. Siendo posible utilizar lámina de calibres diversos, sabiendo que pueden considerarse como acero adicional.

FIGURAS

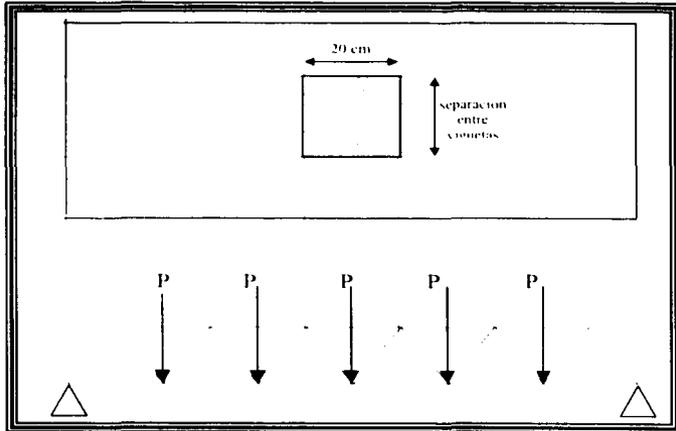


FIGURA 3.1 DISTRIBUCION DE LA CARGA MUERTA DE LA LOSA SOBRE LOS NODOS DE LA ARMADURA

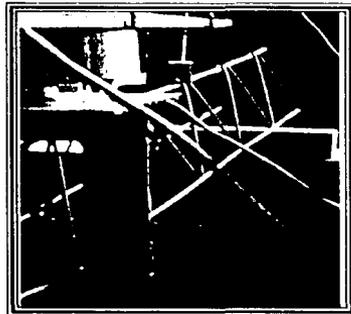


FIGURA 3.2 APOYOS DE LA ARMADURA Y CONFIGURACION

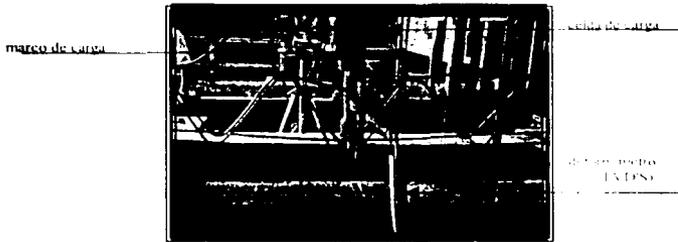


FIGURA 3.3 INSTRUMENTACIÓN DE LA ARMADA DE CARGA EN EL MARCO DE CARGA

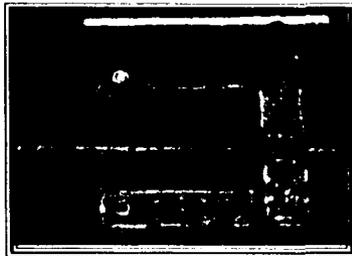


FIGURA 3.4 DETALLE DE LA ARMADA DE CARGA

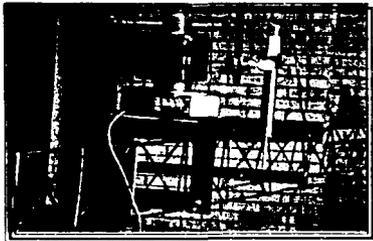


FIGURA 3.5
APLICACIÓN DE LA ARMADA DE CARGA EN EL MARCO DE CARGA

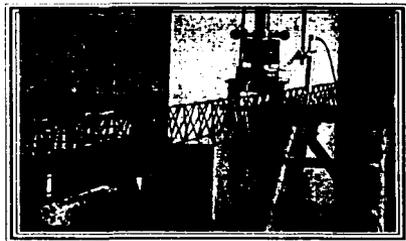


FIGURA 3.6
APLICACIÓN DE LA ARMADA DE CARGA EN EL MARCO DE CARGA

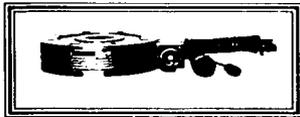


FIGURA 3 7. CELDA DE CARGA HIPERDUAL

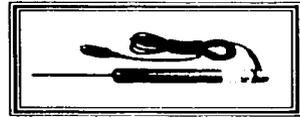


FIGURA 3 8. CABLE DE CONTACTOS

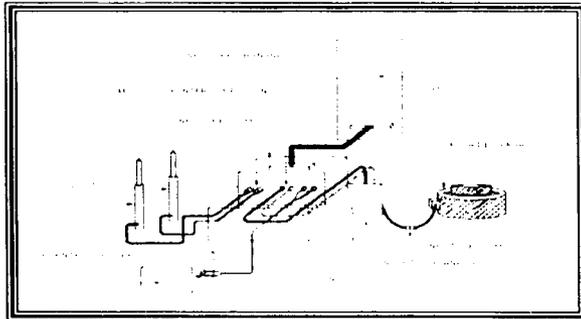


FIGURA 3 9. CONEXION DEL SISTEMA DE MEDICION EN LA BANDA

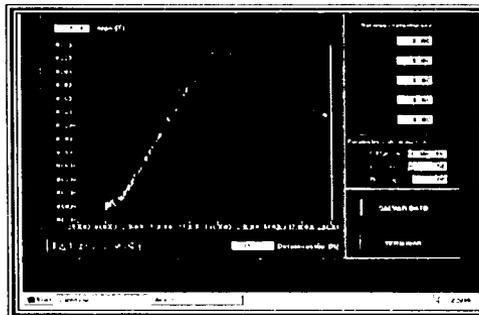


FIGURA 3 10. PANTALLA DEL SISTEMA DE MEDICION DE DATOS

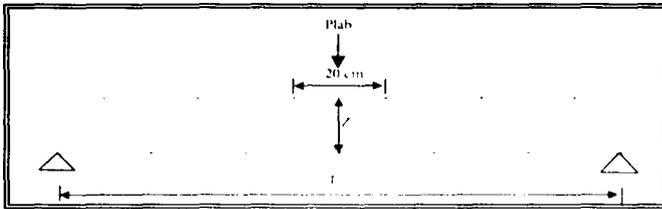


FIGURA 3.11 CARGA APLICADA AL CENTRO DEL CLARO DE LA ARMADURA

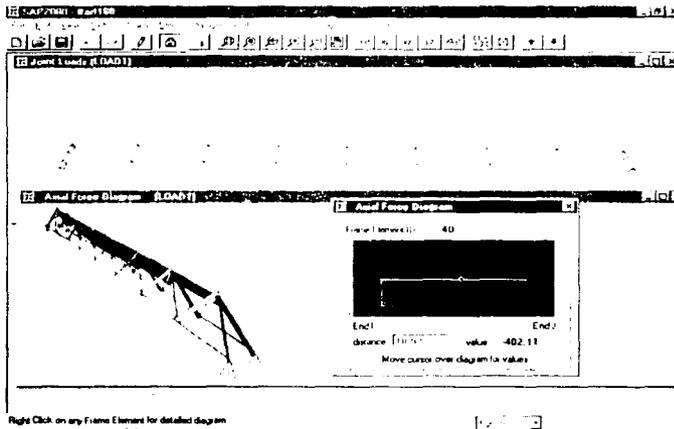


FIGURA 3.12 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA AXIAL SOBRE ARMADURA DE 16 m DE CLARO

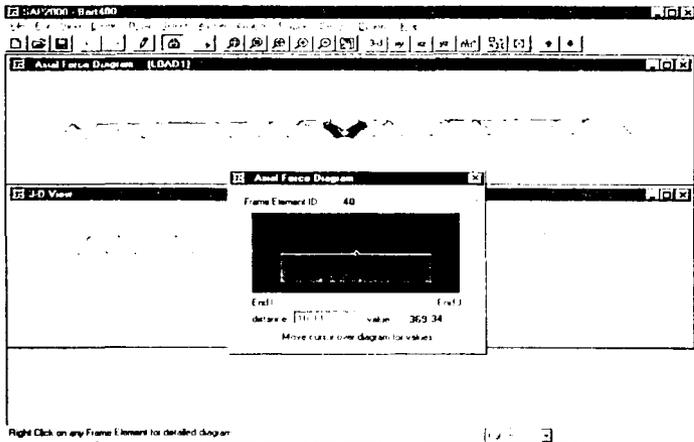


FIGURA 3.13 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA AXIAL SOBRE ARMADURA DE 4.0 m DE CLARO

Para dos apoyo temporal intermedio.

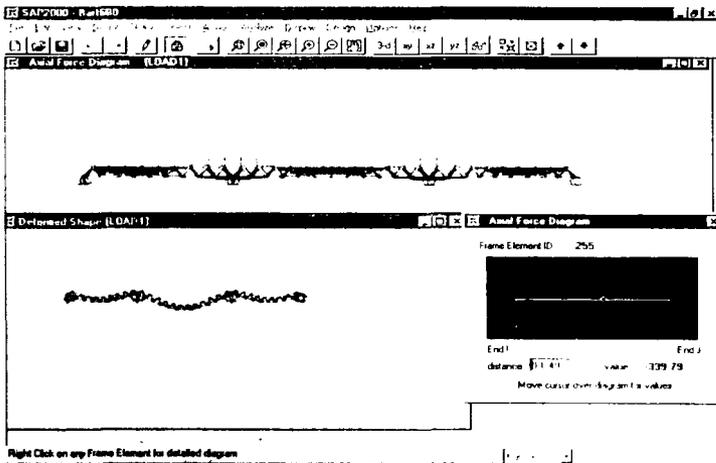


FIGURA 3.14 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA AXIAL SOBRE ARMADURA DE 4.0 m DE CLARO

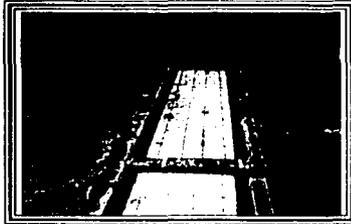


FIGURA 3.15 ARMADURA DE BARRAS EN LA MOLDURA DEL CASETÓN DE POLIESTIRENO

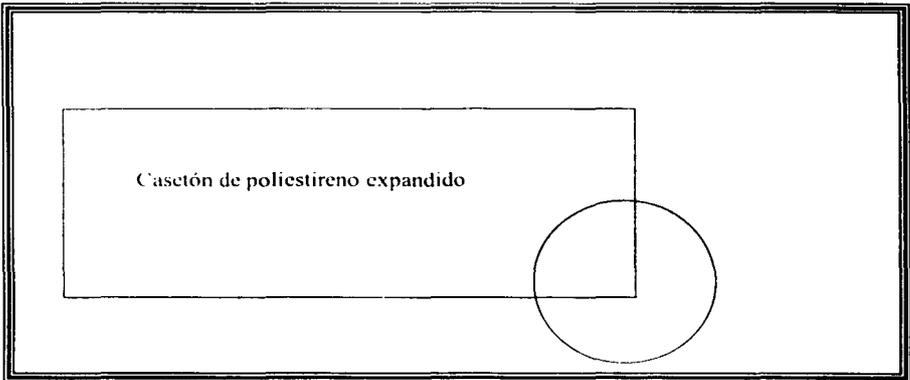


FIGURA 3.16 DETALLE DE COLOCACIÓN DEL CASETÓN DE POLIESTIRENO



FIGURA 3.17 VACIADO DEL CONCRETO EN EL CASETÓN DE POLIESTIRENO EN LA ARMADURA Y EL CASETÓN DE POLIESTIRENO



FIGURA 3.18. LAJAS DE CONCRETO

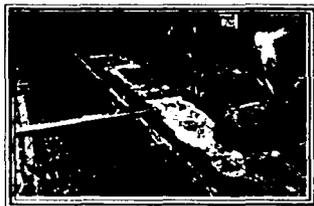


FIGURA 3.19. LAJAS DE CONCRETO



FIGURA 3.20. LAJAS DE CONCRETO

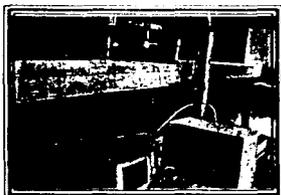


FIGURA 3.21. PLATEAMIENTO DE LA ARMAVIGA

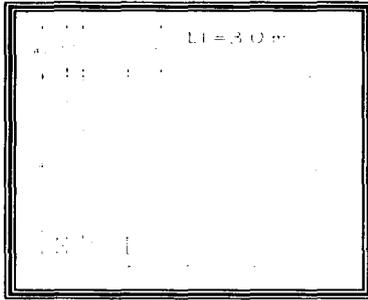


FIGURA 3 22 ARMADO DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 1 CON CLARO DE 3 0 M

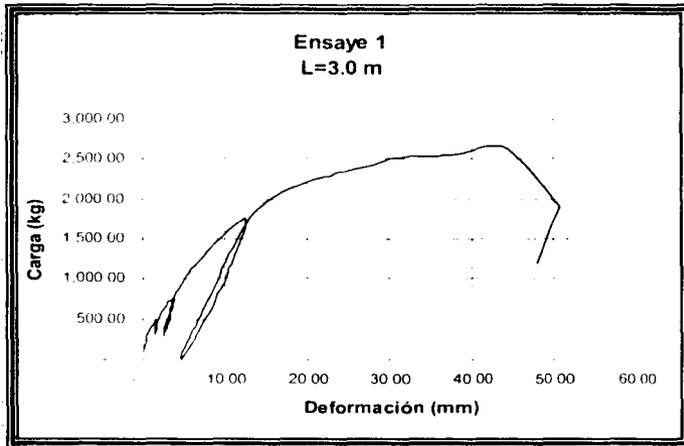


Figura 3 23 CURVA CARGA-DEF DE DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 1 CON CLARO DE 3 0 M

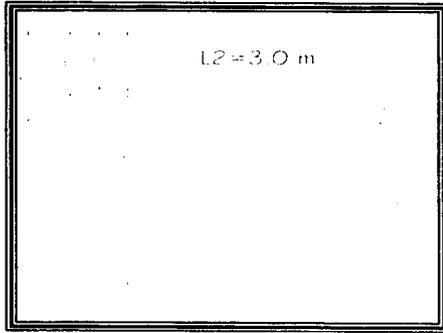


FIGURA 3.24 ARMADO DE LOSA ARMADURA ENSAYE 2 CON CLARO DE 4.5 M



FIGURA 3.25 GRIETAS POR FLECHA EN LA LOSA ARMADURA ENSAYE 2 CON CLARO DE 4.5 M

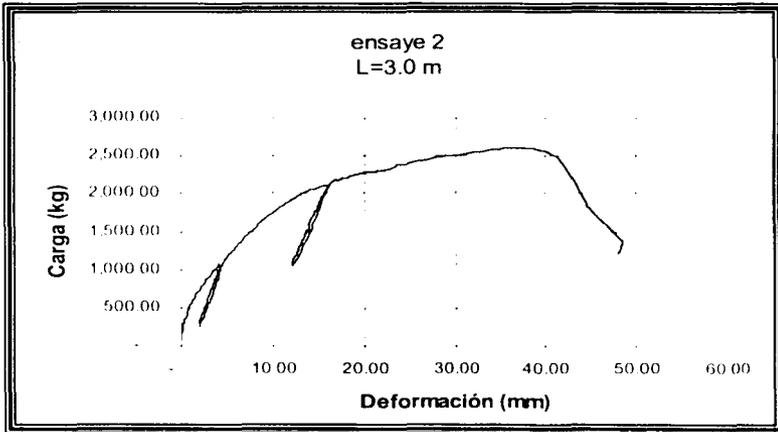


FIGURA 3.26 CURVA CARGA DEF. DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 2 CON CLARO DE 4.5 M

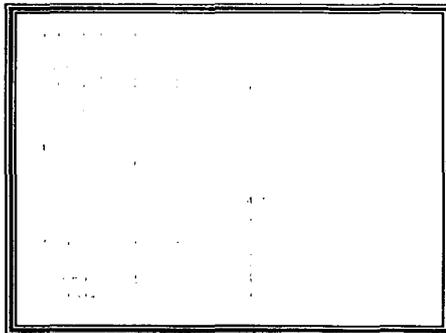


FIGURA 3.27 ARMADO DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 3 CON CLARO DE 4.5 M

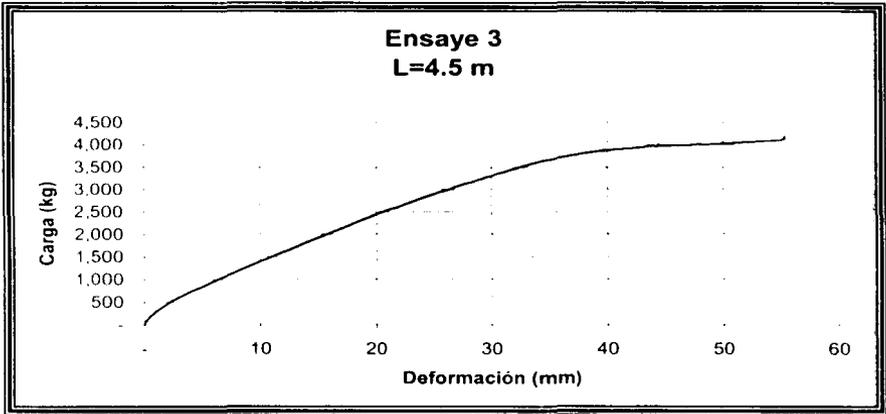


FIGURA 3.28 CURVA CARGA-DEF. DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 3 CON CLARO DE 4.5 M

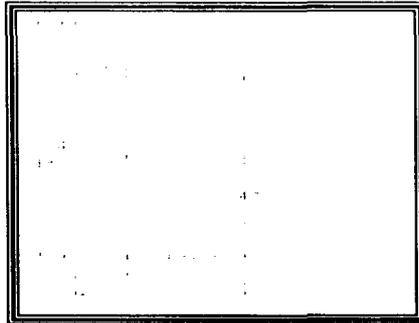


FIGURA 3.29 ARMADO DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 4 CON CLARO DE 4.5 M



FIGURA 3.31

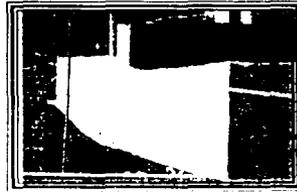


FIGURA 3.32

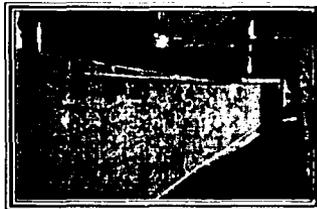


FIGURA 3.32
CARGA APLICADA A LOSA ARMADA

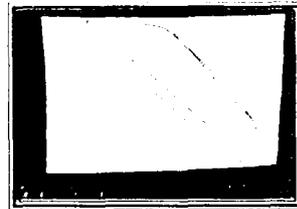


FIGURA 3.33
CURVA CARGA-DEFLECCION DE LOSA ARMADA ENSAYE 4
CARGA MÁXIMA 41.5 M



FIGURA 3.34 ARMADO DE LOSA ARMADA ENSAYE 5 CON CLARO DE 6.0 M

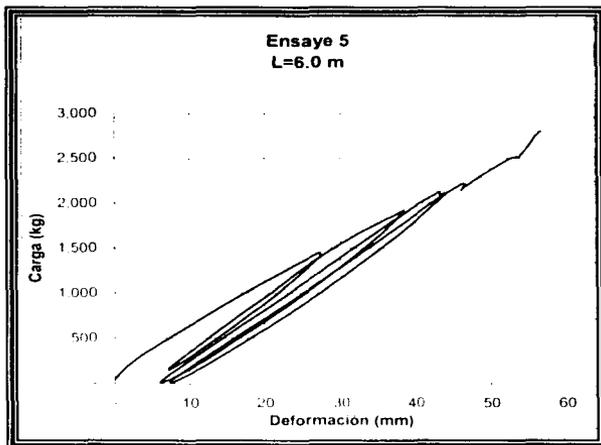


FIGURA 3.35 CURVA CARGA-DEF. DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 5 CON CLARO DE 6.0 M

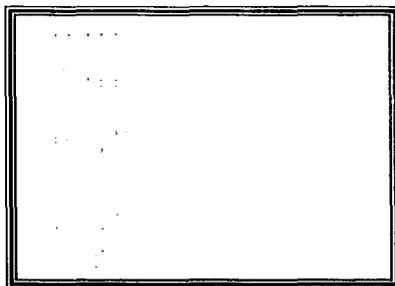


FIGURA 3.36 ARMADO DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 6 CON CLARO DE 6.0 M

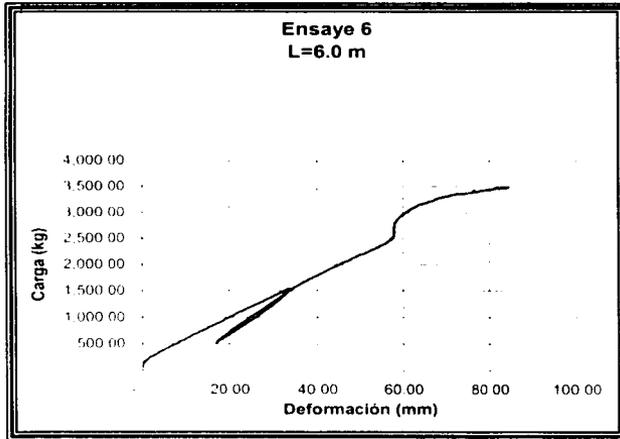


FIGURA 3.37 CURVA CARGA-DEF. DE LOSA ARMAVIGA ENSAYE 6 CON CLARO DE 6.0 M

CAPITULO 4. CÁLCULO DE RESISTENCIA

4.1 GENERALIDADES

Ahora que se tienen los resultados de las pruebas de las armaduras de diferentes claros, se procederá a describir el método propuesto para calcular la resistencia de las mismas.

Como ya se mencionó, los sistemas a base de viguetas y bovedillas pueden analizarse y diseñarse como un conjunto de vigas "T" situadas una al lado de otra; para el diseño de dichas secciones se partirá de que se conocen las dimensiones de la sección, así como el armado de las mismas.

Con estos valores se determinará su resistencia al momento flexionante y a cortante; una vez determinada la resistencia se propondrá una carga de diseño y se calculará el claro máximo de diseño para dicha sección.

4.2 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y CORTANTE

Existen dos casos posibles para determinar la resistencia en vigas de sección "T" de concreto reforzado; en el presente trabajo primero se determinará la resistencia en secciones "T", cuando la profundidad del bloque de esfuerzos "a" sea menor que el espesor del patín "t", para el segundo caso estudiado, la profundidad del bloque de esfuerzos "a" es mayor que el espesor del patín "t".

Antes de comenzar el estudio del primer caso ($a < t$) se determinará el límite entre uno y otro caso, considerando la sección "T" mostrada en la fig. 13 la cual está sometida a un momento flexionante externo. Figura 4.1.

Por equilibrio de fuerzas, la tensión debe de ser igual a la fuerza de compresión, en la sección "T" mostrada en la figura se tiene:

$$\sum F_x = 0 \quad (4.0)$$

$$T = C_c \quad (4.1)$$

$$T = C_c + C_{sc} \quad (4.2)$$

Donde:

T = Fuerza de tensión proporcionada por el acero de refuerzo.

C_c = Fuerza de compresión del concreto

C_{sc} = Fuerza de compresión en el área de acero A_{s'}

La segunda ecuación de equilibrio es la de momentos

$$\sum M_i = M \quad (4.2b)$$

Esto es, la suma de los momentos internos es igual al momento externo actuante

De lo anterior se puede deducir que el límite entre el primer caso que corresponde a calcular la sección como rectangular, el segundo que corresponde a calcular la sección como una sección "T", está marcado por la profundidad del bloque de esfuerzos "a".

PRIMER CASO. El valor de la profundidad del bloque de esfuerzos es menor que el espesor del patín, por lo tanto se calcula como sección rectangular.

a).- Si el valor de la profundidad del bloque de esfuerzos "a"<d' se calcula como sección simplemente armada, tal como se muestra en la Figura. 4.2

Por equilibrio ecuación. (4.2b)

$$M = f''_c b a [d - 0.5a] \quad (4.3)$$

De acuerdo con el título VI del R.C.D.F., las resistencias deben afectarse por un factor de reducción, FR.

Para flexión valdrá 0.9

$$M_R = F_R f''_c b a [d - 0.5a] \quad (4.3)$$

$$M_R = 0.9 f''_c b a [d - 0.5a] \dots\dots(4.4)$$

donde :

MR = Momento resistente de la sección

FR = Factor de resistencia para flexión

$$f''_c = 0.85 f'_c = 0.85(0.8 f'_c) \quad (4.5)$$

b).- Si el valor de t>"a">d' se calcula como sección rectangular doblemente reforzada como la mostrada en la Figura 4.3:

Por equilibrio

$$T = C'_1 + C'_2$$

$$M = f'_c b a [d - 0.5a] + A_s f_{sc} (d - d') \dots\dots(4.6)$$

La resistencia debe afectarse por un factor de reducción FR para flexión 0.9

$$M = F_R [f'_c b a [d - 0.5a] + A_s f_{sc} (d - d')]$$

$$M = 0.9 [f'_c b a [d - 0.5a] + A_s f_{sc} (d - d')] \dots\dots(4.7)$$

donde.

MR = Momento resistente de la sección

FR = Factor de resistencia de la flexión

$$f_c^* = 0.85 f_c'$$

$$f_s^* = 0.80 f_s'$$

f = Esfuerzo a compresión en el área de acero A_s .

SEGUNDO CASO. Para el valor de la profundidad del bloque de esfuerzo " a " > t es necesario calcular la sección como "T", tal como se muestra en la Figura 4.4.

$$T = C_{cb} + C_{cs} + C_{cp} \dots \dots \dots (4.8)$$

$$M = F_R \left[ab' f_c^* (d - 0.5a) + A_{vs} f_{sv} (d - d') + f_s^* t (b - b')(d - 0.5t) \right] \dots \dots \dots (4.9)$$

M_R = Momento resistente de la sección

F_R = Factor de resistencia para flexión

$$f_c^* = 0.80(0.85) f_c'$$

A_s = Área de acero sometida a compresión

f_{sv} = Esfuerzo a compresión en el área de acero

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

La determinación de la resistencia al esfuerzo cortante en vigas de concreto reforzado está representada por tres factores: el concreto simple que conforma la viga, el refuerzo longitudinal y el refuerzo transversal.

En primer lugar se determinará la contribución de la resistencia del concreto con su armado longitudinal. El R.C.D.F. en sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, propone que la fuerza cortante que toma el concreto y acero longitudinal, se calcula con las siguientes expresiones.

$$\text{si } \rho < 0.01 \quad V_{cR} = F_R b d (0.2 + 30\rho) \sqrt{f_c^*} \dots \dots \dots (4.10)$$

$$\text{si } \rho \geq 0.01 \quad V_{cR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c^*} \dots \dots \dots (4.11)$$

donde:

V_{cR} = Fuerza cortante que toma el concreto.

F_R = Facto de resistencia para cortante = 0.8

$$f_c^* = 0.8 f_c'$$

ρ = porcentaje de acero de la sección

Para la resistencia al esfuerzo cortante proporcionada por las diagonales de la armadura, el cual corresponde al refuerzo transversal se ha recurrido a la analogía de la armadura propuesta por Ritter en 1899

Si la capacidad de carga de un elemento depende directamente de su resistencia a esfuerzos de tensión inclinados, la carga máxima se obtiene cuando fluye el acero de refuerzo transversal; esto es cuando $f_v = f_{v,cr}$.

De acuerdo con el Título IV del R.C.D.F. la resistencia deberá ser afectada por un factor de reducción (F_R) para cortante igual a 0.8

$$V_{Rt} = 0.8 \frac{A_v f_v z}{s} (\text{sen}\alpha + \cos\alpha) \dots\dots(4.12)$$

donde:

- V_{Rt} = Fuerza cortante que toma el armado transversal
- z = Peralte efectivo de la sección
- s = Separación entre diagonales de la armadura

Una vez que se ha obtenido la resistencia aportada por el concreto con su armado longitudinal y la del refuerzo transversal, solo falta sumarlas para lograr obtener la resistencia total de la sección a la fuerza cortante.

$$V_R = V_{CR} + V_{Rt} \dots\dots\dots(4.13)$$

donde:

- V_R = Fuerza cortante resistente de la sección
- V_{CR} = Fuerza cortante que toma el concreto
- V_{Rt} = Fuerza cortante que toma el armado transversal

A continuación se detalla como se calculan los valores de la tabla presentada al final del capítulo 3

El método utilizado para el cálculo de resistencia consiste en calcular el momento último de la sección y posteriormente calcular el momento debido al peso propio de la losa y restarlo (dependiendo de la contraflecha existente en la losa):

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 1 (L=3.0 m)

El armado de la losa se muestra en la Figura 4.5.

DATOS

b=	39cm	espesor promedio de capa de compresión=	3.9cm
f _c =	195 kg/cm ²	ancho de nervadura promedio=	9.07cm
carga muerta	0.069t/m		

Material	area(cm2)	fy(kg/cm2)	F(kg)
Tmalla=	0.23	5,000.00	1,155.02
Tinf0 36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0 32=	0.32	6,000.00	1,920.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			7,318.47

DESARROLLO:

$$a = \frac{\sum T - \sum C_a}{bf_c} \quad (4.14)$$

DONDE:

a = Espesor del bloque de compresión del concreto
T = Fuerza de tensión
C_a = Fuerza de compresión del acero
b = Ancho de la sección

$$c = \frac{a}{0.8} \quad (4.15)$$

c = Profundidad del eje neutro

De la expresión (4.14)

$$a = \frac{7,318.47 - 0}{39(195.6)}$$

a = 0.96 cm

a < t se calcula como sección rectangular

De expresión (4.15)

$$c = \frac{0.96}{0.8}$$

c = 1.20 cm

$$M_R = \sum M \quad (4.16)$$

DONDE:

M_R = Momento resistente de la sección

M = Momentos respecto al eje centroidal de la sección

CALCULO DEL CENTROIDE DE LA FIGURA			
FIGURA	A(cm ²)	Yi(cm)	Ai*Yi
1	152.10	16.95	2,578.10
2	135.00	7.50	1,012.50
	287.10		3,590.60

Yi = 6.39 Cm

CALCULO DE MOMENTOS RESPECTO AL EJE CENTROIDAL			
Material	Fuerza(kg)	brazo (cm)	M (kg-cm)
Malla	1,155.02	2.59	2,995.62
mf	2,160.00	11.61	25,069.88
sup	1,920.00	2.14	4,115.66
lamina	2,083.46	12.51	26,056.58
concreto	7,318.47	5.91	43,280.62

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.6.

De expresión (4.16)

$M_R = 87,295.79 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

$$M_{\text{peso propio}} = \frac{w l^2}{8} \quad (4.17)$$

DONDE:

w = Peso propio por metro de la losa
 l = Claro de la losa

De expresión (4.17)

$$M_{\text{peso propio}} = \frac{69(3)^2}{8} = 77.63 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_p = M_R - M_{\text{peso propio}} \quad (4.18)$$

DONDE:

M_p = Momento para determinar la carga "P"

$$M_p = 87,395.75 - 77.63$$

$$M_p = 87,218.17 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$P' = \frac{4M_p}{L} \quad (4.19)$$

$$P' = 1,162.91 \text{ kg}$$

$$P_{\text{max}} = 2P' \quad (4.20)$$

RESULTADOS:

Pmax=	2 326Ton
-------	----------

$$W_s = 993.94 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,550.67 \text{ kg/m}^2$$

Plab=	2 640Ton
-------	----------

$$W_s = 1,128.21 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,760 \text{ kg/m}^2$$

Diferencia = 314.18 kg

La carga aplicada en laboratorio es mayor seguramente porque entraron los aceros en su etapa de endurecimiento por deformación.

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 2 (L=3.0 m)

El armado de la losa se muestra en la figura 4.7

DATOS:

b=	39.6 Cm	espesor promedio de capa de compresión=	4.37 cm
f _c =	195.6 kg/cm ²	ancho de nervadura promedio=	9.63 cm
carga muerta	0.076 T/m		

DESARROLLO:

De expresión (4.14)

$$a = \frac{7,318.47 - 0}{39.6(195.6)}$$

$$a = 0.94 \text{ cm}$$

$a < t$ ∴ se calcula como sección rectangular

de expresión (4.15):

$$c = 1.18 \text{ cm}$$

Material	area(cm ²)	f _y (kg/cm ²)	F (kg)
Tmalla=	0.23	5,000.00	1,155.02
Tinf0 36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0 32=	0.32	6,000.00	1,920.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			7,318.47

CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA FIGURA			
FIGURA	A _i (cm ²)	Y _i (cm)	A _i ·Y _i
1	173.052	17.185	2.973.90
2	144.45	7.5	1.083.38
	317.502		4.057.27
	12.78	Cm	
Y _c =	6.59	Cm	

se calcula como seccion rectangular

Material	fuerza(kg)	brazo (cm)	M(kg-cm)
Tmalla=	1,155 02	2 48	2,865 90
Tinf0.36=	2,160 00	11 45	24,729 27
Tsup0.32=	1,920 00	1 99	3,823 23
Tlamina=	2,083 46	12 78	26,623 92
Cc=	7 318 47	6 12	44,780 61
momento ultimo de la seccion=			89,444 66

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.8.

De expresion (4.16):

$$M_R = 89,444.66 \text{ kg-cm}$$

De expresion (4.17):

$$M_{\text{peso propio}} = \frac{76(3)^2}{8}$$

$$M_{\text{peso propio}} = 85.50 \text{ kg-cm}$$

De expresion (4.18):

$$M_p = 89,444.66 - 85.5$$

$$M_p = 89,359.16 \text{ kg-cm}$$

de expresion (4.19):

$$P = 1,191.46 \text{ kg}$$

De expresion (4.20)

Pmax=	2 383 Ton
-------	-----------

$$W_s = 1,018.34 \text{ kg/m}^2$$

$$W_w = 1,588.67 \text{ kg/m}^2$$

Plab=	2 602 Ton
-------	-----------

$$W_s = 1,111.97 \text{ kg/m}^2$$

$$W_w = 1,734.67 \text{ kg/m}^2$$

La carga aplicada en laboratorio es mayor seguramente porque entraron los aceros en su etapa de endurecimiento por deformación.

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 3 (L = 4.5 m)

El armado de la losa se muestra en la Figura 4.9.

DATOS

b=	39 Cm	espesor promedio de capa de compresión=	3.42 cm
f _c =	245.5 kg/cm ²	ancho de nervadura promedio=	9.00 cm
Carga muerta	0.064 t/m		

DESARROLLO:

de la expresión (4.14)

$$a = \frac{15,636.34}{39(245.5)}$$

$$a = 1.63 \text{ cm}$$

$a < t_v$ se calcula como sección rectangular

de expresión (4.15):

$$c = 2.04 \text{ cm}$$

Material	Area(cm ²)	f _y (kg/cm ²)	F(kg)
Tmalla=	0.23	3,365.85	777.52
Tint0.36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0.32=	0.32	4,829.27	1,545.37
Tvar#3=	0.71	5,591.55	3,970.00
Tvar#4=	1.27	4,015.75	5,100.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			15,636.34

CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA FIGURA			
FIGURA	A _i (cm ²)	Y _i (cm)	A _i *Y _i
1	133.38	16.71	2,228.78
2	135	7.5	1,012.50
	268.38		3,241.28

$$Y_i = \frac{12.08}{268.38} \text{ cm}$$

$$Y_i = 7.29 \text{ cm}$$

Material	fuerza(kg)	brazo (cm)	M(kg-cm)
Tmalla=	777.52	4.09	3,182.24
Tin#0.36=	2,160.00	9.84	21,248.36
Tsup0.32=	1,545.37	3.60	5,567.64
Tvar#3=	3,970.00	8.50	33,733.90
Tvar#4=	5,100.00	8.66	44,151.74
Tlamina=	2,083.46	11.13	23,183.03
Cc=	15,636.34	6.48	101,264.63
momento ultimo de la seccion =			214,831.77

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.10.

De expresion (4.16):

$$M = 214,831.77 \text{ kg-cm}$$

De expresion (4.17):

$$M_{p_{prop}} = 64(4.5) S$$

$$M_{p_{prop}} = 162.0 \text{ kg-cm}$$

De expresion (4.18)

$$M_p = 214,669.77 \text{ kg-cm}$$

De expresion (4.19):

$$P = 1,908.18 \text{ kg}$$

de expresion (4.20):

RESULTADOS

$P_{max} =$	3,816 ton
-------------	-----------

$$W_s = 1,087.28 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,696 \text{ kg/m}^2$$

$P_{lab} =$	4,077 ton
-------------	-----------

$$W_s = 1,161.54 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,812 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Diferencia} = 260.65 \text{ kg}$$

La carga aplicada en laboratorio es mayor seguramente porque entraron los aceros en su etapa de endurecimiento por deformación.

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 4 (L = 4.5 m)

El armado de la losa se muestra en la Figura 4.11.

DATOS

b=	39cm	espesor promedio de capa de compresión=	3.42cm
fc=	195.6cm	ancho de nervadura promedio=	9.00cm
carga muerta	0.064t/m		

DESARROLLO:

De expresión (4.14):

$$a = \frac{15,875.61 - 0}{39(195.6)}$$

$$a = 2.08cm$$

$a < t$ ∴ se calcula como sección rectangular

de expresión (4.15):

$$c = 2.60 \text{ cm}$$

Material	area(cm ²)	fy(kg/cm ²)	F(kg)
Tmalla=	0.23	1,384.62	319.85
Tinf0.36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0.32=	0.32	2,538.46	812.31
Tvar#5=	1.99	5,276.38	10,500.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			15,875.61

CALCULO DEL CENTROIDE DE LA FIGURA			
FIGURA	Ai (cm ²)	Yi (cm)	Ai*Yi
1	133.38	16.71	2,228.78
2	135	7.5	1,012.50
	268.38		3,241.28

$$Y_i = \frac{3,241.28}{268.38} = 12.08 \text{ cm}$$

$$Y_i = 7.29 \text{ cm}$$

Material	fuerza(kg)	brazo (cm)	M(kg-cm)
Tmalla=	319.85	4.04	1,309.09
Tinf0.36=	2,160.00	9.84	21,248.36
Tsup0.32=	812.31	3.50	2,926.58
Tvar#5=	10,500.00	7.33	76,935.63
Tlamina=	2,083.46	11.13	23,183.03
Cc=	15,875.61	6.25	99,258.10
			224,860.79

momento maximo=

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.12

De expresión (4.16):

$$M_R = 224,860.79 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.17):

$$M_{propio} = \frac{64(4.5)^2}{8}$$

$$M_{propio} = 151.38 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.18):

$$M_P = 224,709.41 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.19):

$$P' = 2,066.29 \text{ kg}$$

De expresión (4.20):

$P_{max} =$	4 133 ton
-------------	-----------

$$w_{max} = 1,220.78 \text{ kg/m}^2 \quad W_n = 1,836.89 \text{ kg/m}^2$$

$P_{lab} =$	4 190 ton
-------------	-----------

$$w_{max} = 1,237.74 \text{ kg/m}^2 \quad W_n = 1,862.22 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{diferencia} = 57.41 \text{ kg}$$

La carga aplicada en laboratorio es mayor seguramente porque entraron los aceros en su etapa de endurecimiento por deformación.

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 5 (L=6.0 m)

El armado de la losa se muestra en la Figura 4.12.

DATOS

b=	39.45 cm	espesor promedio de capa de compresion=	3.56 cm
fc=	195.6 kg/cm ²	ancho de nervadura promedio=	9.45 cm
	carga muerta	0.068 t/m	

DESARROLLO

De la expresión (4.14):

$$a = \frac{20,761}{339.45(195.6)}$$

$$a = 2.63 \text{ cm}$$

$a < t$ ∴ se calcula como sección rectangular

de expresión (4.15):

$$c = 3.29 \text{ cm}$$

Material	area(cm ²)	fy(kg/cm ²)	F(kg)
Tmalla=	0.23	-	-
Tinf0.36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0.32=	0.32	1,363.64	436.36
Tvar#3=	1.42	4,378.95	6,218.11
Tvar#4=	2.54	4,055.12	10,300.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			20,761.56

CALCULO DEL CENTROIDE DE LA FIGURA			
FIGURA	Ar (cm ²)	Yi (cm)	Ar*Yi
1	140.442	16.78	2,356.62
2	141.75	7.5	1,063.13
	282.192		3,419.74
	12.12 cm		
Yi=	7.25 cm		

Material	fuerza(kg)	brazo (cm)	M (kg-cm)
malla		3 91	
inf	2,160 00	10 02	21,639 94
sup	436 36	3 42	1,493 03
var#3	6,218 11	7 07	43,952 63
var#4	10 300 00	8 17	84,135 48
	2,083 46	11 31	23,560 74
	20 325 20	5 93	120,619 82
momento maximo :			295,401 64

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.13

De expresión (4.16):

$$M = 295,401.64 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.17):

$$M_{\text{propio}} = 306 \text{ kg-cm}$$

de expresión (4.18):

$$M_p = 295,095.64 \text{ kg-cm}$$

de expresión (4.19):

$$P = 1,967.30 \text{ kg}$$

De expresión (4.20):

P _{max} =	3 935ton
--------------------	----------

$$W_s = 831.14 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,311.67 \text{ kg/m}^2$$

P _{lab} =	3 429ton
--------------------	----------

$$W_s = 724.33 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,143 \text{ kg/m}^2$$

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LOSA ENSAYE 6 (L = 6.0 m)

El armado de la losa se muestra en la Figura 4.14.

DATOS

b=	40Cm	espesor promedio de capa de compresión=	4.04 cm
f _c =	195.6kg/cm ²	ancho de nervadura promedio=	10.00 cm
carga muerta	0.075 t/m		

DESARROLLO:

De la expresión (4.14):

$$a = \frac{21,398.07}{40(195.6)} = 0$$

$$a = 2.63 \text{ cm}$$

$$a < 1.7$$

se calcula como sección rectangular

de expresión (4.15):

$$c = 3.29 \text{ cm}$$

Material	area(cm ²)	f _y (kg/cm ²)	F(kg)
Tmalla=	0.23	647.23	149.51
Tinf0.36=	0.36	6,000.00	2,160.00
Tsup0.32=	0.32	1,521.87	487.00
Tvar#3=	1.42	4,378.95	6,218.11
Tvar#4=	2.54	4,055.12	10,300.00
Tlamina=	0.8235	2,530.00	2,083.46
			21,398.07

Material	fuerza(kg)	brazo (cm)	M (kg-cm)
malla		3.91	
inf	2,160.00	10.02	21,639.94
sup	436.36	3.42	1,493.03
var#3	6,218.11	7.07	43,952.63
var#4	10,300.00	8.17	84,135.48
	2,083.46	11.31	23,560.74
	20,325.20	5.93	120,619.82
			295,401.64

momento máximo=

Ver diagrama de deformaciones Figura 4.15.

De expresión (4.16):

$$M = 295,401.64 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.17):

$$M_{\text{peso}} = 306.0 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.18):

$$M_p = 295,095.64 \text{ kg-cm}$$

De expresión (4.19):

$$P' = 1,967.30 \text{ kg}$$

De expresión (4.20):

Pmax=	4 228ton
-------	----------

$$W_s = 880.83 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,409.33 \text{ kg/m}^2$$

Plab=	3 538ton
-------	----------

$$W_s = 737.08 \text{ kg/m}^2 \quad W_m = 1,189.33 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{diferencia} = 690.31 \text{ kg}$$

FIGURAS

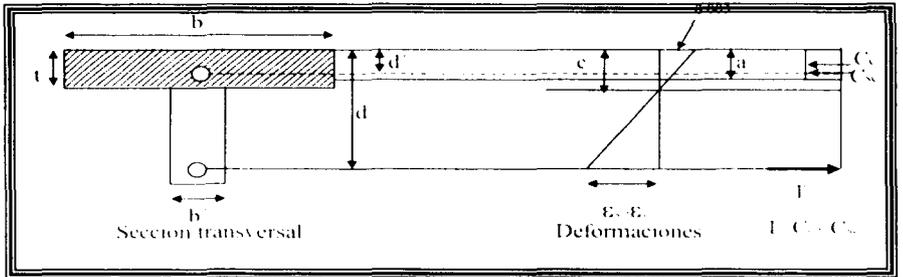


FIGURA 4.1 Caso $a < t$

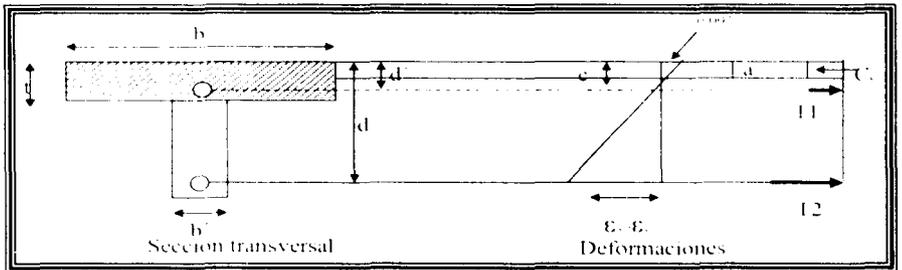


FIGURA 4.2 Caso $a > t$

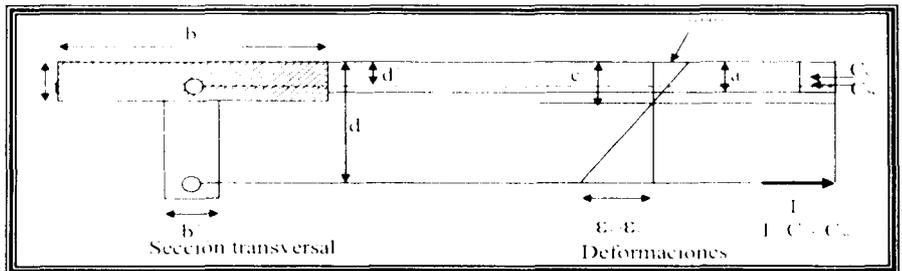


FIGURA 4.3 Caso $t < a < l$

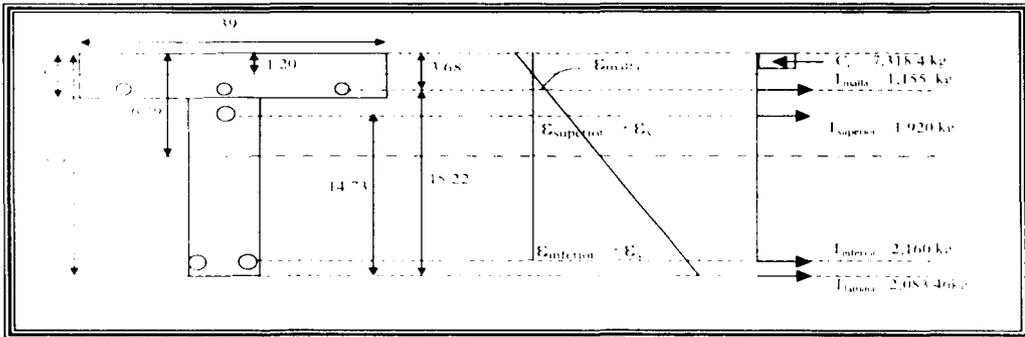


FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE DEFORMACIÓN DE LOSA - ENSAYO 1 (L = 3.0 M)

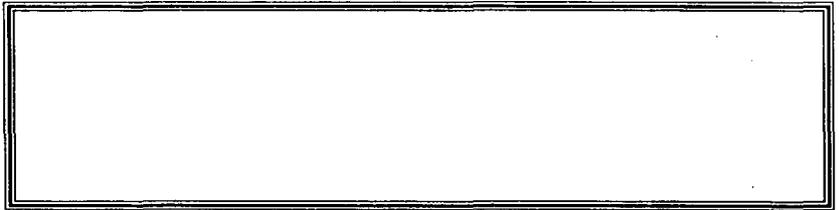


FIGURA 4.7 Armado de losa - ENSAYO 2 (L = 3.0 M)

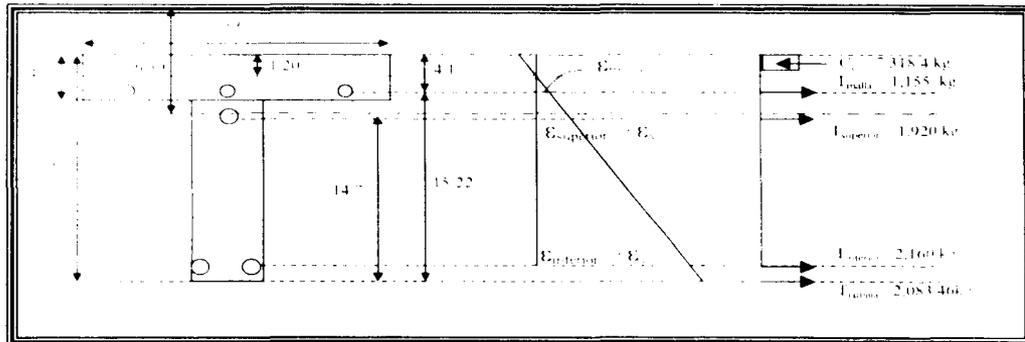


FIGURA 4.8 Diagrama de deformación de losa - ENSAYO 2 (L = 3.0 M)

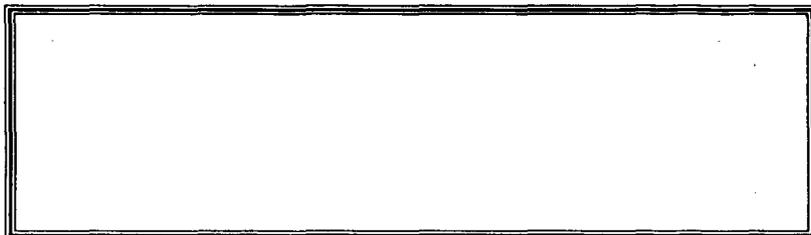


FIGURA 4.9 Armado de losa - Ensayo 3 (L = 4.5 m)

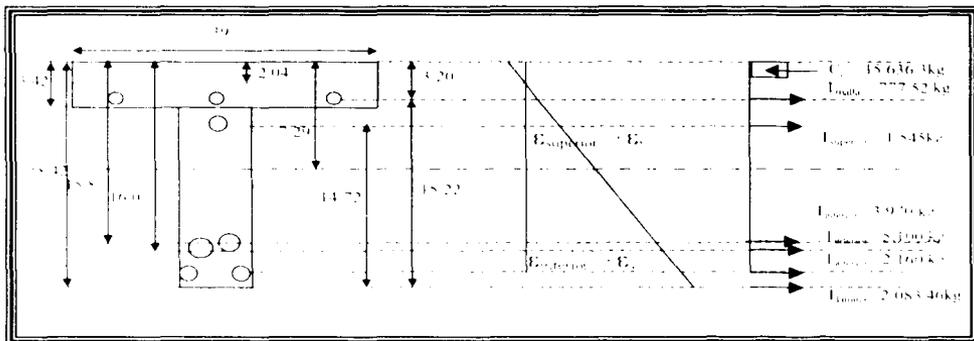


FIGURA 4.10 Diagrama de deformación de losa - Ensayo 3 (L = 4.5 m)

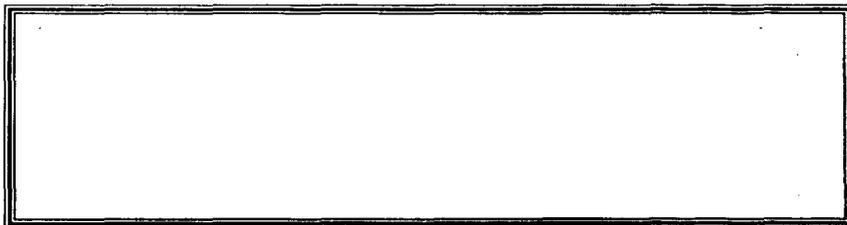


FIGURA 4.11 Armado de losa - Ensayo 4 (L = 4.5 m)

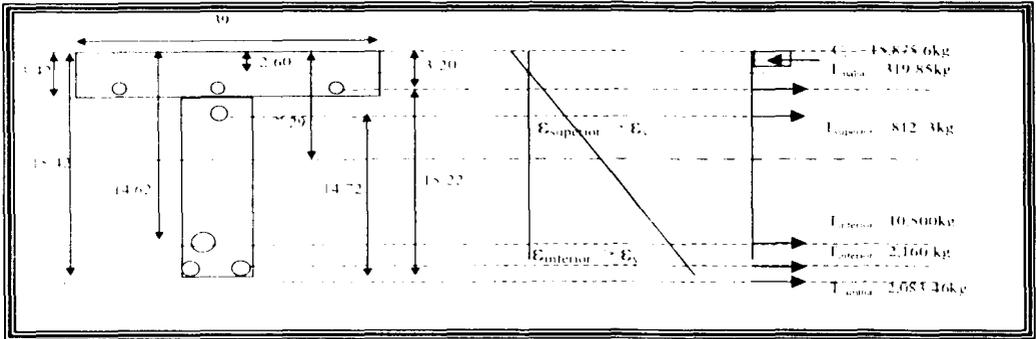


FIGURA 4.12 Diagrama de deformación de losa Ensayo 4 (L = 4.5 m)

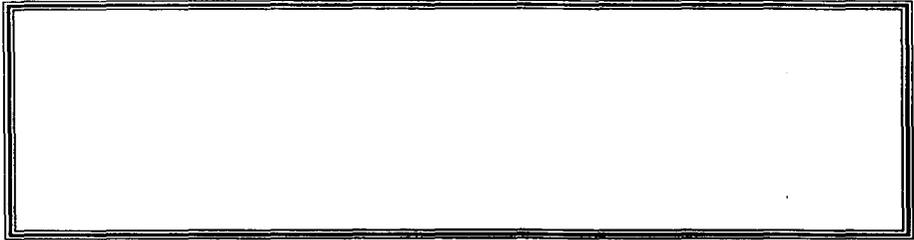


FIGURA 4.13 Armado de losa Ensayo 5 (L = 6.0 m)

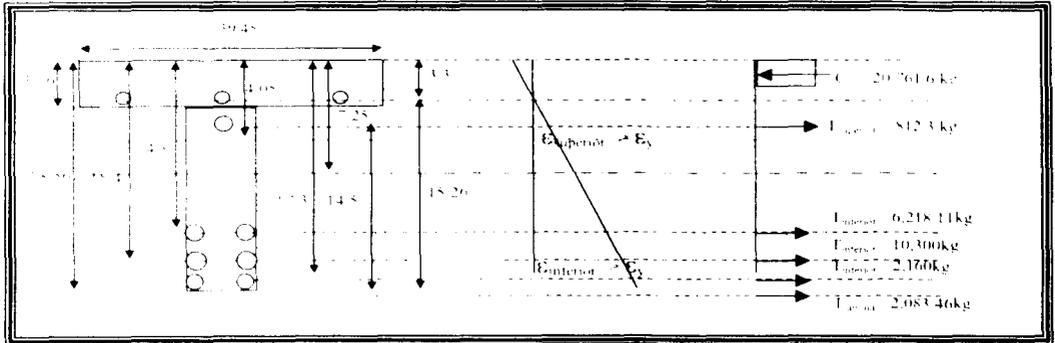


FIGURA 4.14 Diagrama de deformación de losa Ensayo 5 (L = 6.0 m)

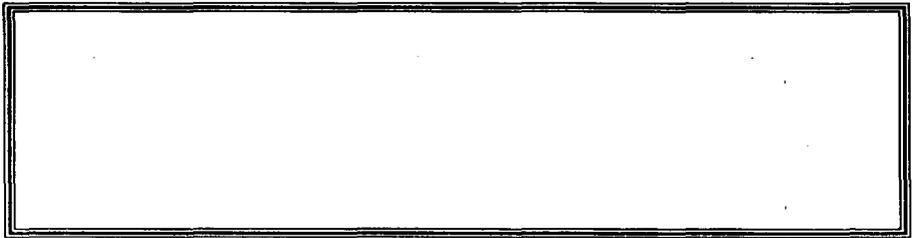


FIGURA 4.15 Armado de losa Ensayo 2 (L = 6.0 m)

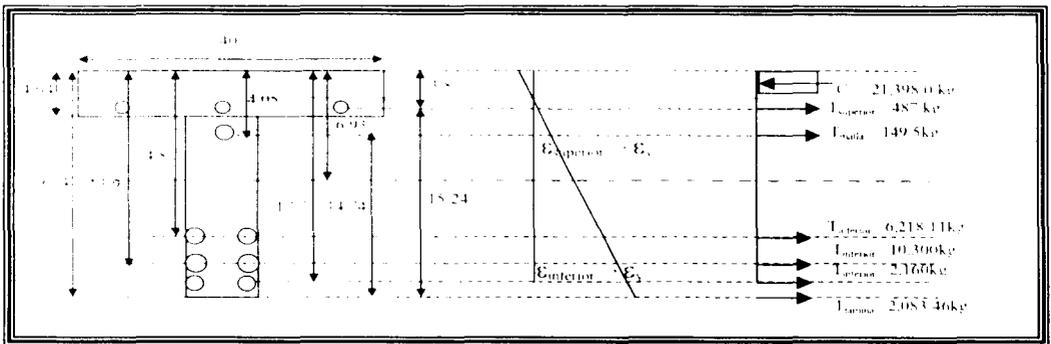


FIGURA 4.16 Diagrama de deformación de losa Ensayo 6 (L = 6.0 m)

CAPITULO 5. CALCULO DE DEFORMACIONES

5.1 GENERALIDADES

Las deformaciones de los miembros estructurales son función de su claro libre, de los apoyos o condiciones en los extremos (tales como apoyo simple o restricción debido a la continuidad), del tipo de cargas (cargas concentradas o distribuidas) y de la rigidez en flexión (EI) del miembro

Las vigas y losas se construyen generalmente como partes monolíticas de un sistema integrado y rara vez como miembros aislados

En una estructura es importante cumplir con dos condiciones

- 1 Tener la capacidad resistente (estado límite de falla)
2. Que la estructura no sobrepase el estado límite de deformaciones, en condiciones de servicio

Lo último por la posibilidad de que provoquen daños en otros elementos de la estructura y por motivos de orden estético, tal como lo analiza el R C D F, el cual a la letra dice

"Se considera como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia ante nuevas aplicaciones de carga"

"Se considera como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas".⁴

El sistema de losa propuesto debe cumplir con esas condiciones. En el capítulo anterior se hizo ver que existen procedimientos para calcular la resistencia del mismo, por lo que en este capítulo se planteará un procedimiento para determinar las deformaciones del sistema.

⁴Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal"

5.2 DEFORMACIONES PERMISIBLES

Las deformaciones permisibles de un sistema estructural, se rigen primordialmente por la cantidad de deformaciones que pueden soportar los componentes interactivos de la estructura, sin perder la apariencia estética y sin detrimento de la resistencia para el miembro deformado.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal establece limitaciones de deformaciones iguales para todos los materiales de construcción.

En las edificaciones comunes, el estado límite de desplazamientos se cumplirá si no se exceden los valores siguientes:

- Un desplazamiento vertical en el centro de trabes o losas, en los que se incluyen efectos de largo plazo, igual al claro entre 240 más 0.5 cm
- Un desplazamiento vertical en el centro de trabes o losas en los que se incluyen efectos de largo plazo, si las deflexiones no estructurales pueden afectar elementos no estructurales, igual al claro entre 480 más 0.3 cm

Si las deflexiones de las vigas son excesivas, puede agrietarse el acabado del muro. Para fijar el valor de las deflexiones permisibles, también debe considerarse el procedimiento de construcción. Por ejemplo, si los muros se construyen varios meses después de que se ha terminado la estructura, ya se habrá desarrollado un porcentaje grande de las deflexiones a largo plazo, y se reduce la probabilidad de que se agrieten los muros. En este caso, solo interesan las deflexiones producidas por la carga viva.

La posibilidad de dar contraflechas es otro factor que debe tomarse en cuenta al establecer las deflexiones permisibles. El valor de la contraflecha debe restarse de la deflexión calculada, y la diferencia compararse con la deflexión permisible. Sin embargo no deben darse contraflechas excesivamente grandes.

La tabla siguiente muestra las deformaciones máximas permisibles por el Reglamento ACI

TIPO DE MIEMBRO	DEFLEXION A CONSIDERAR	DEFLEXIÓN PERMISIBLE
Azoteas que no soportan o que no están ligadas a elementos no estructurales que puedan dañarse por deflexiones grandes *	Deflexión inmediata debida a la carga viva	L/180
Pisos que no soportan o que no están ligados a elementos no estructurales que puedan dañarse por deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva	L/360
Azoteas o pisos que soportan o que están ligados a elementos no estructurales que puedan dañarse por deflexiones grandes	La parte de la deflexión total que ocurre después de que se ligan los elementos no estructurales (la suma de la deflexión de larga duración debida a todas las cargas sostenidas y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional)	L/240
Azoteas o pisos que soportan o que están ligados a elementos no estructurales que puedan sufrir daños por deflexiones grandes		L/240

* Este límite puede no ser suficiente para evitar el encharcamiento del agua. El símbolo L representa el claro

TABLA 5.1

5.3 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DEFORMACIONES

Existen varios métodos para el cálculo de deformaciones en losas entre los que se encuentran los siguientes:

Método de Yu y Winter

Método del Reglamento ACI

Método del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (R.D.F.)

Por la complejidad del sistema propuesto, se hará un estudio comparativo entre estos métodos para determinar cual es el más conveniente, con las modificaciones necesarias surgidas de la etapa experimental, para representar el comportamiento del sistema.

Uno de los parámetros importantes para el cálculo de deformaciones es el Módulo de Elasticidad E. El cual se obtendrá en el laboratorio, probando cilindros de concreto de las losas de ensaye

5.3.1 METODO DE YU Y WINTER

Para la utilización de este método se considera que E es el modulo de elasticidad del concreto y que I es el momento de inercia de la sección agrietada transformada. Yu y Winter proponen dos procedimientos para calcular las deformaciones.

Para el primero, para vigas libremente apoyadas se usa el momento de inercia de la sección transformada agrietada, I, del centro del claro, mientras que en vigas continuas, se usas el promedio de los valores de I en las zonas de momento positivo y negativo, en este primer método no se toma en cuenta que el comportamiento de una viga de concreto reforzado es esencialmente diferente antes y después de agrietarse el concreto de la zona de tensión. Tampoco se considera la contribución del concreto que trabaja a tensión entre grieta y grieta.

El segundo método es un refinamiento del primero que toma en cuenta la contribución del concreto que trabaja a tensión entre grieta y grieta. Para no pasar por alto esta contribución, las deflexiones calculadas con el primer método, o sea, con el momento de inercia de la sección agrietada transformada, se multiplican por el siguiente factor correctivo

$$\left(1 - h \frac{M_1}{M_{\max}} \right) \quad (5.1)$$

donde:

h = ancho del alma en la zona de tensión en cm

M_{\max} = momento máximo bajo cargas de trabajo en kg-cm

$$M_1 = 0.04(f')^{2/3} h(h - c) \quad \text{en kg-cm} \quad (5.2)$$

h = peralte total en cm

c = profundidad del eje neutro en cm

Por lo que la deformación del elemento será:

$$a_i = \left(1 - b \frac{M_i}{M_{\max}} \right) a_i \quad (5.3)$$

donde:

a_i = deformación calculada con el primer criterio.

Los métodos de Yu y Winter fueron verificados con los resultados de noventa ensayos. Las deflexiones experimentales, en su gran mayoría, no difieren de los valores calculados en más del 20 por ciento.

5.3.2 MÉTODO DEL REGLAMENTO ACI

Este método está basado en los resultados realizados por Branson según los cuales el efecto del agrietamiento del concreto puede tomarse en cuenta usando en los cálculos un momento de inercia efectivo promedio, I_e , a lo largo del elemento:

$$I_e = \left(\frac{M_{ag}}{M_{\max}} \right)^3 I_v + \left[1 - \left(\frac{M_{ag}}{M_{\max}} \right)^3 \right] I_{ag} < I_v \quad (5.4)$$

M_{ag} es el momento de agrietamiento de la sección homogénea de concreto:

$$M_{ag} = \frac{f_r I_g}{Y_t} \quad (5.5)$$

donde

f_r es el módulo de ruptura, que se toma como $2 \sqrt{f'_c}$;

I_g es el momento de la sección completa, sin considerar el refuerzo

Y_t es la distancia del centroide a la fibra más alejada en tensión.

M_{\max} es el momento máximo correspondiente al nivel de carga para el cual se estima la deflexión

I_{ag} es el momento de inercia de la sección agrietada transformada

Puesto que la carga viva actúa junto con la carga permanente, para obtener la parte de la deflexión correspondiente a ella, deberán calcularse primero las deflexiones debidas a la carga permanente sola y a la carga permanente mas la carga viva. Estas deflexiones se calculan con los valores del momento de inercia efectivo, I_e , correspondiente a cada uno de los niveles de carga

Si la viga es de sección constante se permite tomar como I_e , el correspondiente al centro del claro para vigas libremente apoyadas y vigas continuas. Esto simplifica

considerablemente los cálculos sin que afecte la precisión significativamente, puesto que la zona central es la que mayor influencia tiene en la deformación.

Con base en las recomendaciones de Branson, las deflexiones inmediatas al centro del claro de vigas libremente apoyadas y de vigas continuas y en el extremo de voladizos pueden estimarse con un grado de precisión aceptable para fines prácticos por medio de la siguiente ecuación

$$a_i = K \frac{5}{48} \frac{M L^3}{E I} \quad (5.6)$$

donde:

M = momento en el empotramiento para voladizos, y el momento a la mitad el claro para vigas libremente apoyadas y vigas continuas

K = 12/5 para voladizos, 1 para vigas libremente apoyadas, $(1.20-0.20M_0 / M_m)$ para vigas continuas. M_0 es el momento isostático a la mitad del claro y M_m es el momento neto en la misma sección.

5.3.3 MÉTODO DE LAS NORMAS TÉCNICAS (NTC)

Según las NTC, las deflexiones inmediatas pueden estimarse con los métodos tradicionales de la mecánica de Sólidos, tomando como momento de inercia el de la sección trasformada agrietada

Este método no toma en cuenta el nivel de agrietamiento como lo hace el Reglamento ACI, por lo que teóricamente se obtienen deformaciones mayores respecto a las reales.

En este método se calcula el módulo de elasticidad de la sección agrietada de la siguiente forma:

$$E_c = 14,000 \sqrt{f_c} \quad \text{Para concreto Clase 1} \quad (5.7)$$

$$E_c = 8,000 \sqrt{f_c} \quad \text{Para concreto Clase 2} \quad (5.8)$$

Posteriormente se calcula el momento de inercia de la sección agrietada, transformando el área de acero en área de concreto o viceversa:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad \text{Para transformar el área de acero en área equivalente de concreto} \quad (5.9)$$

Se obtiene el centroide de la sección equivalente, obteniendo el momento estático de las áreas respecto al eje neutro de la sección agrietada (x):

$$nA_1(b-x) = b \left(\frac{x^2}{2} \right) \quad (5.10)$$

Posteriormente se calcula el momento de inercia de la sección transformada agrietada, tanto al centro como en los extremos de la viga. Si el extremo de la viga es continuo, el valor de I_c ahí, se supone igual a cero, y en la expresión No. 5.11 se utiliza como denominador el valor de 3:

$$I_c = \frac{I_{c1} + I_{c2} + 2I_c}{4} \quad (5.11)$$

I_{c1} = Momento de inercia de la sección transformada agrietada en el extremo 1.

I_{c2} = Momento de inercia de la sección transformada agrietada en el extremo 2.

I_c = Momento de inercia de la sección transformada agrietada en el centro del claro.

$$I = \frac{bx^3}{3} + nA_1(d-x)^2 \quad \text{para secciones simplemente armadas} \quad (5.12)$$

$$I = \frac{bx^3}{3} + nA_1(d-x)^2 + nA_2(x-d')^2 \quad \text{para secciones doblemente armadas} \quad (5.13)$$

Posteriormente se calculan las deflexiones inmediatas (a_i):

$$(a_i) = \frac{PL^3}{48E_c I_c} \quad \text{para el caso de vigas con carga concentrada al centro del claro} \quad (5.14)$$

$$(a_i) = \frac{5wL^4}{384E_c I_c} \quad \text{para el caso de vigas con carga distribuida.} \quad (5.15)$$

Posteriormente se calcula la deflexión diferida debido a la permanencia de la carga en el elemento, obteniendo el factor siguiente el cual multiplica a la deflexión inmediata:

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 DEL LAZARILLO

$$\text{factor} = \frac{2}{1 + 50\rho'} \text{ para concreto clase 1. (5.16)}$$

$$\text{factor} = \frac{4}{1 + 50\rho'} \text{ para concreto clase 2. (5.17)}$$

donde ρ' es el porcentaje de acero en la zona de compresión; la deflexión diferida debida a carga sostenida = (factor) (a.)

Para calcular la deflexión total, se suman las deflexiones inmediatas mas la deflexión diferida debida a carga sostenida

Posteriormente se calcula la deflexión permisible para revisar si cumple con los valores que establece dichas Normas

$$a_{adm} = 0.5cm + \frac{L}{240} \text{ para losas que incluyen efectos de largo plazo. (5.18)}$$

$$a_{adm} = 0.3cm + \frac{L}{480} \text{ para losas que incluyen efectos de largo plazo, si la deflexión puede perjudicar a elementos no estructurales. (5.19)}$$

Los sistemas tipo vigueta y bovedilla deben respetar las limitaciones de deformación a largo plazo, por lo que es normal, principalmente en los que usan viguetas de concreto reforzado, se tengan que dar contraflechas para que se cumpla el valor de la flecha a largo plazo.

5.4. CALCULO DE DEFORMACIONES DE LOSAS ARMAVIGA CON EL MÉTODO YU Y WINTER

Como se mencionó anteriormente, este método nos permite calcular las deflexiones instantáneas bajo cargas

Para nuestro caso, la deflexión máxima es, para una viga libremente apoyada con carga al centro del claro:

$$a_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (5.20)$$

Para calcular el modulo de elasticidad E, se realizaron ensayos de laboratorio como se explican en el Anexo 2, obteniéndose el siguiente valor:

$$E = 110,538 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Efecto tridimensional de la armadura.

Se obtuvo el momento de inercia de la armadura, en el laboratorio de materiales, de la siguiente forma

Se graficaron los valores de carga-deformación obtenidos con el Sistema de adquisición de Datos (SAD), posteriormente se obtuvieron lecturas de los valores extremos del rango lineal de cada una de las curvas, y así obtener un valor ΔP (Carga) con su correspondiente $\Delta \delta$ (Deformación).

Se supone que su módulo de elasticidad es constante en todo el claro, por lo que:

$$\Delta \delta = \frac{(\Delta P)L^3}{48EI} \quad (5.21)$$

despejando I:

$$I = \frac{(\Delta P)L^3}{48E(\Delta \delta)} \quad (5.22)$$

$\Delta \delta$ = Incremento de deformación en el centro del claro.

ΔP = Incremento de carga que produce el incremento de deformación.

L = Claro.

$$E = 2 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

I = Momento de inercia equivalente de la armadura.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

No prueba	claro (cm)	Pin (kg)	Pfin (kg)	dP (kg)	Dini (mm)	Dfin (mm)	Ddef (cm)	I (cm ⁴)
1	80	50.00	320.00	270.00	0.44895	7.79201	7.34306	1.96
2	80	50.00	277.60	227.60	0.09779	4.26500	4.16721	2.91
3	120	25.00	225.00	200.00	0.50949	7.84248	7.33299	4.91
4	120	25.00	225.00	200.00	0.58361	7.48837	6.90476	5.21
5	120	25.00	225.00	200.00	0.55263	7.19586	6.64323	5.42
6	120	25.87	225.00	199.13	0.57400	7.88053	7.30653	4.91
7	160	50.00	160.00	110.00	0.50611	5.99374	5.48763	8.55
8	160	55.00	150.00	95.00	0.61127	5.28689	4.67562	8.67
9	280	30.00	90.00	60.00	4.86591	13.97000	9.10409	15.07
10	600	10.00	27.50	17.50	0.00000	20.31881	20.31881	19.38

TABLA 5.2

El cálculo del momento inercia I, de la sección agrietada transformada, se calcula, con la ecuación propuesta (5.22)

Para el caso de la losa 1 de 3.0 m ensayada en el laboratorio de materiales (fig. 5.1), se tiene:

$$nA_1(d_1 - x) + n_1A_2(d_2 - x) = b \frac{x^3}{2}$$

sustituyendo:

$$18.09(0.46)(3.68 - x) + 18.09(2 * 0.68)(12.36 - x) + 18.09(2 * 0.82)(18.9 - x) = 39x^2$$

$$30.62 + 8.32x + 304.09 + 24.6x + 560.72 + 29.67x = 39x^2$$

$$39x^2 + 62.59x - 895.43 = 0 \Rightarrow x = 4.06 \text{ cm}$$

Una vez conocida la ubicación del eje neutro, se procede a calcular el momento de inercia de la sección agrietada (figura 5.2) con la expresión dada (5.23):

SECCIÓN TRANSFORMADA AGRIETADA:

$$I = \frac{2b'x^3}{3} + \frac{(b - 2b')b'^3}{12} + (b - 2b')t(x - \frac{t}{2})^2 + (n - 1)A_1'(x - d')^2 + nA_{11}(d_1 - x)^2 + nA_{12}(d_2 - x)^2 + nA_{13}(d_3 - x)^2 + 2nI_{armadura}$$

$$I = \frac{18(4.06)^3}{3} + \frac{60(3.9)^3}{12} + 60(3.9)(4.06 - 1.95)^2 + 17.09(0.46)(4.06 - 3.68)^2 + 18.09(2 * 0.68)(13.36 - 3.02)^2 + 18.09(2 * 0.82)(18.09 - 3.02)^2 + 2(18.09)(15.34) \\ I = 401.54 + 296.60 + 1,041.79 + 1.14 + 2,630.38 + 6,737.66 + 555.0 \\ I = 11,664.11 \text{ cm}^4$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 15.34 cm⁴. Ver tabla 5.2.

Finalmente se procede a calcular la deflexión bajo cargas de corta duración, con el primer método de Yu y Winter, considerando una carga viva de servicio de 170 kg/m², más la carga de los acabados y cargas adicionales de 130 kg/m², para un total de 300 kg/m² :

Si se tiene un ancho efectivo de 78 cm se tiene

$$W = 0.78 * 0.3 = 0.234 \text{ m}$$

para efectos del ensaye la carga equivalente que produce el mismo momento es:

$$P = \frac{L}{2} W = \frac{3}{2} 0.234 = 0.351 \text{ kg}$$

entonces:

$$a_{max} = \frac{351(300)}{48(110,538)(11,664.115,298.90)} = 0.15 \text{ cm}$$

Para calcular la deflexión con el segundo método de Yu y Winter se calcula el momento máximo debido a la carga, esto para considerar el agrietamiento:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} \quad (5.24)$$

$$M_{max} = \frac{351(300)}{4} = 26,325 \text{ kg} - \text{cm}$$

De expresión No. (5.2):

$$M_1 = 0.04(195.6)^2 * 18.9(18.9 - 3.02) = 404.53 \text{ kg} - \text{cm}$$

Sustituyendo en expresión (5.1)

$$\left[1 - 18 \left(\frac{404.53}{26,325} \right) \right] = 0.72$$

Sustituyendo en ecuación (5.3):

$$a_{ed2} = 0.72(0.15) = 0.11 \text{ cm}$$

De la curva P – δ para el ensaye se observa que para una carga de 351 kg se tiene una deformación de: $\delta_{sp} = 0.09 \text{ cm}$

Para el caso de la losa No. 2 de 3.0 m de claro, ensayada en el laboratorio de materiales (Figura. 5.3), se tiene:

$$n[A_1(d_1 - x) + A_2(d_2 - x) + A_3(d_3 - x)] = b \frac{x^2}{2}$$

sustituyendo:

$$18.09[(0.46)(4.08 - x) + 0.68(12.76 - x) + 0.82(12.76 - x)] = 39.6x^2$$

$$33.95 + 8.32x + 156.96 - 12.3x + 189.28 + 14.83x = 39.6x^2$$

$$39.6x^2 + 10.85x - 346.24 = 0 \Rightarrow x = 2.82 \text{ cm}$$

Una vez conocida la ubicación del eje neutro, se procede a calcular el momento de inercia de la sección agrietada (Figura. 5.4) con la expresión dada (5.23):

$$I = \frac{bx^3}{3} + n[A_1(d_1 - x)^2 + A_2(d_2 - x)^2 + A_3(d_3 - x)^2] + 2nI_{armadura}$$

$$I = \frac{79.2(2.82)^3}{3} + 18.09[(0.46)(4.08 - 2.82)^2 + 2 * 0.68(12.76 - 2.82)^2 + 2 * 0.82(19.3 - 2.82)^2] +$$

$$2(18.09)(15.34)$$

$$I = 592.04 + 18.09[1.59 + 134.38 + 445.4] + 555.0$$

$$I = 11,664.02 \text{ cm}^4$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 15.34 cm^4 . Ver tabla 5.2.

Finalmente se procede a calcular la deflexión bajo cargas de corta duración, con el primer método de Yu y Winter, considerando una carga de servicio igual a 300 kg/m^2 , que considerando un ancho de 0.792 m, resulta en una carga carga concentrada de 356 kg.

entonces :

$$a_{\max} = \frac{356.4(300)^3}{48(110,538)(11,664.02)} = 0.16 \text{ cm}$$

Para calcular la deflexión con el segundo método de Yu y Winter se calcula el momento máximo debido a la carga, esto para considerar el agrietamiento:

Sustituyendo en expresión (5.24):

$$M_{\max} = \frac{356.4(300)}{4} = 26,730 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

De expresión (5.2)

$$M_1 = 0.04(195.6)^2 + 19.3(19.3 - 2.82) = 428.70 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Sustituyendo en expresión (5.1):

$$\left[1 - 19.26 \left(\frac{428.70}{26,730} \right) \right] = 0.69$$

Sustituyendo en ecuación (5.3)

$$a_{\text{cr}} = 0.69(0.16) = 0.11 \text{ cm}$$

Deformación obtenida en el laboratorio: $\delta_{\text{lab}} = 0.07 \text{ cm}$ para una carga de 356.4 kg

De forma similar se tienen los siguientes resultados para la losa 1 de 4.5 m (Figura. 5.5):

Eje neutro de la sección agrietada (Figura. 5.6), respecto a la parte superior de la losa, ahora, es realmente una sección doble "T":

$$nA_{11}(d_1 - x) + nA_{12}(d_2 - x) + nA_{13}(d_3 - x) = bt(x - \frac{t}{2}) + (n-1)A_1'(x - d') + b'(x - t)^2$$

$$18.09(0.68)(11.88 - x) + 18.09(2 * 1.99)(14.62 - x) + 18.09(2 * 0.82)(18.42 - x) = 78(3.42)(x - 1.71) + 17.09(0.46)(x - 3.58) + 9(x - 3.42)^2$$

$$146.14 - 12.30x + 1,052.62 - 72x + 546.48 - 29.66x = 266.76x - 456.16 + 7.86x - 28.14 + 9x^2 - 61.56x + 105.27$$

$$9x^2 + 327.02x - 2,124.27 = 0 \Rightarrow x = 5.63 \text{ cm}$$

Posteriormente se calcula el momento de inercia de la sección agrietada doblemente armada:

Se tiene que el momento de inercia de la sección agrietada respecto al eje neutro de la sección agrietada para una sección doble "T" es:

$$I = \frac{2b'x^3}{3} + \frac{(b - 2b')t^3}{12} + (b - 2b')t(x - \frac{t}{2})^2 + (n-1)A_1'(x - d')^2 + nA_{11}(d_1 - x)^2 + nA_{12}(d_2 - x)^2 + nA_{13}(d_3 - x)^2 + 2nI_{comidas} \quad (5.25)$$

sustituyendo:

$$I = \frac{18(5.63)^3}{3} + \frac{60(3.42)^3}{12} + 60(3.42)(5.63 - 1.71)^2 + 17.09(0.46)(3.2 - 5.63)^2 + 18.09(2 * 0.68)(11.88 - 5.63)^2 + 18.09(2 * 0.82)(18.42 - 5.63)^2 + 18.09 * 2 * 1.99(16 - 4.22)^2 + 2(18.09)(17.36)$$

$$I = 450.91 + 375.76 + 1,292.78 + 747.32 + 706.78 + 2,991.09 + 9,991.324,995.66 + 628.08$$

$$I = 17,184.04 \text{ cm}^4$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 17.36 cm⁴. Ver tabla 5.2.

Para una carga $W = 0.3 \text{ t/m}^2$ que produce un momento igual a una carga concentrada de 526.5 kg, la deformación calculada es

$$a_{max} = \frac{526.5(450)^3}{48(110538)(17,184.04)} = 0.53 \text{ cm}$$

Cálculo del factor para el segundo método de Yu y Winter

Sustituyendo en expresión (5.24)

$$M_{max} = \frac{526.5(450)}{4} = 59,231.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

De expresión (5.2)

$$M_f = 0.04(245.5)^2(18.42)(18.42 - 4.22) = 410.21 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Sustituyendo en expresión (5.1):

$$\left[1 - 18 \begin{pmatrix} 41021 \\ 5923125 \end{pmatrix} \right] = 0.88$$

Sustituyendo en ecuación (5.3):

$$a_{i,p} = 0.88(0.53) = 0.46 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 0.29 \text{ cm}$

De forma similar se tienen los siguientes resultados para la losa No. 2 de 4.5 m (Figura 5.7):

Eje neutro de la sección agrietada, que para este caso, es doblemente armada:

$$\begin{aligned} nA_{11}(d_1 - x) + nA_{12}(d_2 - x) + nA_{13}(d_3 - x) &= b\left(x - \frac{t}{2}\right) + (n-1)A_s'(x - d') + b'(x - t)^2 \\ 18.09(0.68)(11.88 - x) + 18.09(2 * 1.99)(14.62 - x) + 18.09(2 * 0.82)(18.42 - x) &= 78(3.42)(x - 1.71) + \\ + 17.09(0.46)(x - 3.58) + 9(x - 3.42) & \\ 146.14 - 12.30x + 1,052.62 - 72x + 546.48 - 29.66x &= 266.76x - 456.16 + 7.86x - 28.14 + 9x^2 - \\ - 61.56x + 105.27 & \\ 9x^2 + 327.02x - 2,124.27 = 0 \Rightarrow x &= 5.63 \text{ cm} \end{aligned}$$

Posteriormente se calcula el momento de inercia de la sección agrietada doblemente armada (Figura. 5.8)

Se tiene que el momento de inercia de la sección agrietada para una sección "T" es:

Sustituyendo en expresión (5.25)

$$\begin{aligned} I &= \frac{18(5.63)^3}{3} + \frac{60(3.42)^3}{12} + 60(3.42)(5.63 - 1.71)^2 + 17.09(0.46)(3.2 - 5.63)^2 + \\ + 18.09(2 * 0.68)(11.88 - 5.63)^3 &+ 18.09(2 * 0.82)(18.42 - 5.63)^2 + 18.09 * 2 * 1.99(16 - 4.22)^2 \\ + 2(18.09)(17.36) & \\ I &= 450.91 + 375.76 + 1,292.78 + 747.32 + 706.78 + 2,991.09 + 9,991.324,995.66 + 628.08 \\ I &= 17,184.04 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 17.36 cm⁴. Ver tabla 5.2.

Aquí la carga resultante que produce un momento igual al de una carga uniforme de 300 kg/m² vale:

$$a_{\max} = \frac{526.5(450)^3}{48(110538)(17,184.04)} = 0.53 \text{ cm}$$

Cálculo del factor para el segundo método de Yu y Winter

Sustituyendo en expresión (5.24):

$$M_{\max} = \frac{526.5(450)}{4} = 59,231.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

De expresión (5.2):

$$M_1 = 0.04(245.5)^2 + 18.42(18.42 - 4.22) = 410.21 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Sustituyendo en expresión (5.1):

$$\left[1 - 18 \left(\frac{410.21}{59231.25} \right) \right] = 0.88$$

Sustituyendo en ecuación (5.3):

$$a_{\text{ef}} = 0.88(0.53) = 0.46 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{\text{inf}} = 0.25 \text{ cm}$

En seguida, se tienen los siguientes resultados para la losa 1 de 2 de 6.0 m de claro (Figura. 5.9):

El eje neutro de la sección agrietada, correspondiente al de una viga doble "T":

$$nA_1(d_1 - x) + nA_2(d_2 - x) + nA_3(d_3 - x) - bI\left(\frac{t}{2}\right) + (n-1)A_4'(x-d') + b'(x-t)'$$

$$18.09(2 * 0.68)(12.02 - x) + 18.09(2 * 3.98)(15.76 - x) + 18.09(2 * 0.82)(18.56 - x) = 78.9(3.56)(x - 1.78) +$$

$$+ 17.09(0.46)(x - 3.8) + 9(x - 3.36)$$

$$295.72 - 24.6x + 2,269.38 - 144x + 550.64 - 29.66x = 280.88x - 500.0 + 7.86x - 29.87 + 9x^2 -$$

$$60.08x + 114.06$$

$$9x^2 + 422.92x - 3,531.55 = 0 \Rightarrow x = 7.24 \text{ cm}$$

El momento de inercia de la sección agrietada doblemente armada (Figura. 5.10), y en una sección doble "T" es:

$$I = \frac{2b'x^3}{3} + \frac{(b-2b')l^3}{12} + (b-2b')l(x - \frac{l}{2})^2 + (n-1)A_s'(x-d')^2 + nA_{s1}(d_1-x)^2 + nA_{s2}(d_2-x)^2 + nA_{s3}(d_3-x)^2 + nA_{s4}(d_4-x)^2 + 2nI_{armadura} \quad (5.26)$$

sustituyendo :

$$I = \frac{18.8(7.24)^3}{3} + \frac{59.2(4.04)^3}{12} + 59.2(4.04)(7.24 - 2.02)^2 + 17.09(0.46)(7.24 - 3.78)^2 + 18.09(2 * 0.68)(12.5 - 7.24)^2 + (18.09)(2 * 1.42)(14.8 - 7.24)^2 + 18.09 * 2 * 2.54(15.9 - 7.24)^2 + 2(18.09)(19.38)$$

$$I = 2,378.22 + 325.3 + 6,592.07 + 94.11 + 680.69 + 3,936.3 + 6,891.89 + 701.17$$

$$I = 20,599.75 \text{ cm}^4$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 19.38 cm⁴. Ver tabla 5.2.

Ahora la carga de 300 kg/m² actuando en un ancho de 78.9 cm, produce un momento igual al de una carga concentrada igual a 710 kg.

$$a_{max} = \frac{710.1(600)^2}{48(110538)(22,126.59)} = 1.41 \text{ cm}$$

Cálculo del factor para el segundo método de Yu y Winter

Sustituyendo en expresión (5.24):

$$M_{max} = \frac{710.1(600)}{4} = 106,515.0 \text{ kg} - \text{cm}$$

De expresión (5.2):

$$M_1 = 0.04(195.6)^{-1} 18.56(18.56 - 6.78) = 294.69 \text{ kg} - \text{cm}$$

Sustituyendo en expresión (5.1):

$$\left[1 - 188 \left(\frac{29469}{106515} \right) \right] = 0.95$$

Sustituyendo en ecuación (5.3):

$$a_{crs} = 0.95(1.41) = 1.34 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 1.23 \text{ cm}$

Por ultimo, se tienen los siguientes resultados para la losa 2 de 2 de 6.0 m de claro (Figura. 5.11):

Eje neutro de la sección agrietada, que para este caso, es doblemente armada (Figura. 5.11):

$$nA_s(d_s - x) + nA_s'(d_s' - x) + nA_c(d_s - x) - bt(x - \frac{t}{2}) + (n-1)A_s''(x - d'') + b'(x - t) = 0$$

$$18.09(2 * 0.68)(12.5 - x) + 18.09(2 * 3.98)(15.86 - x) + 18.09(2 * 0.82)(19.04 - x) = 79.2(4.04)(x - 2.02) + 17.09(0.46)(x - 4.04) + 10(x - 4.04)^2$$

$$307.5 - 24.6x + 2,283.84 - 144x + 564.72 - 49.66x = 319.97x - 546.34 + 7.86x - 31.76 + 10x^2 - 80.8x + 163.22$$

$$10x^2 - 686.69x + 3,570.94 - 0 = 0 \Rightarrow x = 4.86cm$$

Posteriormente se calcula el momento de inercia de la sección agrietada doblemente armada (Figura. 5.12).

Se tiene que el momento de inercia de la sección agrietada para una sección "T" es:

Substituyendo en expresión (5.26)

$$I = \frac{b(4.86)^3}{3} + \frac{59.2(4.04)^3}{12} + 59.2(4.04)(4.86 - 2.02)^2 + 17.09(0.46)(4.86 - 3.78)^2 + 18.09(2 * 0.68)(12.5 - 4.86)^3 + 18.09(2 * 1.42)(14.8 - 4.86)^3 + 18.09(2 * 2.54)(15.9 - 4.86)^3 + 18.09(2 * 0.82)(19.04 - 4.86)^3 + 2(18.09)(19.38)$$

$$I = 365.28 + 325.3 + 1,929.03 + 9.17 + 1,436.03 + 5,076.09 + 11,200.58 + 5,965.34 + 2(18.09)(19.38)$$

$$I = 37,407.99cm^4$$

El efecto tridimensional de la armadura resulta igual a 19.38 cm⁴. Ver tabla 5.2.

En este caso la carga concentrada para comparar resulta de 712 .8kg:

$$P = 1 - 150(0.8) * 6.0 = 720kg$$

$$a_{eq} = \frac{720(600)^2}{48(110537.98)(15,825.14)} = 1.85cm$$

Cálculo del factor para el segundo método de Yu y Winter

Substituyendo en expresión (5.24):

$$M_{max} = \frac{712.8(600)}{4} = 106,920kg - cm$$

De expresión (5.2):

$$M_i = 0.04(195.6)^2 + 19.04(19.04 - 6.49) = 322.07kg - cm$$

Sustituyendo en expresión (5.1):

$$\left[1 - 188 \left(\frac{32207}{106920} \right) \right] = 0.94$$

Sustituyendo en ecuación (5.3):

$$a_{cr} = 0.94(1.06) = 0.99cm$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 1.57cm$

5.6 CÁLCULOS DE DEFORMACIONES DE LOSAS ARMAVIGA CON EL MÉTODO ACI

ENSAYE 1. L=3.0 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{60(3.9)(1.95) + 18(18.9)(9.45)}{60(3.9) + 18(18.9)} = 6.39 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{60(3.9)^3}{12} + 60(3.9)(6.39 - 1.95)^2 + 2 \left[\frac{9(18.9)^3}{12} + 9(18.9)(9.45 - 6.39)^2 \right]$$

$$I_x = 18,221.98 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.78 = 101.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1.014(300)^2}{8} = 11,407.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.78 = 132.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1.326(300)^2}{8} = 14,917.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{max} = 26,325 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{og} = \frac{f_x I_x}{y_x}; f_x = 2 \cdot f_y$$

$$M_{og} = \frac{27.94(18,221.98)}{12.51} = 40,697.21 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{og} > M_{max} \therefore I_x = I_y$$

$$a_x = \frac{351(300)^2}{48 * 110538 * 18221.98} = 0.10 \text{ cm}$$

$$a_y = \frac{5(300)^2(26,325)}{48(110,538)(18,221.98)} = 0.12 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 0.11 \text{ cm}$

ENSAYE 2. L=3.0 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{61.2(4.3)(2.15) + 18(19.3)(9.65)}{61.2(4.3) + 18(19.3)} = 6.42 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{61.2(4.3)^3}{12} + 61.2(4.3)(6.42 - 2.15)^2 + 2 \left[\frac{9(19.3)^3}{12} + 9(19.3)(9.65 - 6.42)^2 \right]$$

$$I_x = 19,611.63 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.792 = 102.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1.03(300)^2}{8} = 11,587.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.792 = 134.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1.346(300)^2}{8} = 15,142.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{max} = 26,730 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ag} = \frac{f_c I_c}{y_c}; f_c = 2 \cdot f_t$$

$$M_{ag} = \frac{27.94(18,221.98)}{12.51} = 40,697.21 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ag} > M_{max} \therefore I_c = I_x$$

$$a_c = \frac{351(300)^2}{48 * 110,538 * 19611.63} = 0.09 \text{ cm}$$

$$a_t = \frac{5(300) * (26,325)}{48(110,538)(19611.63)} = 0.12 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 0.07 \text{ cm}$

ENSAYE 3. L=4.5 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{60(3.42)(1.71) + 18(18.42)(9.21)}{60(3.42) + 18(18.42)} = 6.34 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{60(3.42)^3}{12} + 60(3.42)(6.34 - 1.71)^2 + 2 \left[\frac{9(18.42)^3}{12} + 9(18.42)(9.21 - 6.34)^2 \right]$$

$$I_x = 16,704.63 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.78 = 101.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1.014(300)^2}{8} = 25,666.88 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.78 = 132.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1.326(300)^2}{8} = 33,564.38 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{max} = 59,231.26 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ag} = \frac{f_c I_x}{y_t}; I_x = 2 I_y$$

$$M_{ag} = \frac{27.94(16,704.63)}{12.08} = 38,636.37 \text{ kg} - \text{cm}$$

$M_{ag} < M_{max}$ ∴ I_x de expresión (5.4):

$$I_p = 19,352.38 \text{ cm}^4 ∴ I_p ∴ I_y = I_x$$

$$a_t = \frac{526.5(450)^2}{48 * 110,538 * 11,664.11} = 0.78 \text{ cm}$$

$$a_c = \frac{5(450)^2(59,231.26)}{48(110,538)(11,664.11)} = 0.97 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 0.29 \text{ cm}$

ENSAYE 4. L=4.5 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{60(3.42)(1.71) + 18(18.42)(9.21)}{60(3.42) + 18(18.42)} = 6.34 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{60(3.42)^3}{12} + 60(3.42)(6.34 - 1.71)^2 + 2 \left[\frac{9(18.42)^3}{12} + 9(18.42)(9.21 - 6.34)^2 \right]$$

$$I_x = 16,704.63 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.78 = 101.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1,014(300)^2}{8} = 25,666.88 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.78 = 132.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1,326(300)^2}{8} = 33,564.38 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{\text{max}} = 59,231.26 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{\text{ag}} = \frac{f_y I_x}{y_t}; f_y = 2 \cdot f_c$$

$$M_{\text{ag}} = \frac{27.94(16,704.63)}{12.08} = 38,636.37 \text{ kg} - \text{cm}$$

$M_{\text{ag}} < M_{\text{max}}$ ∴ I_x de expresión (5.4):

$$I_c = 19,352.38 \text{ cm}^4 > I_x \therefore I_x = I_c$$

$$a_1 = \frac{526.5(450)^2}{48 * 110538 * 11664.11} = 0.78 \text{ cm}$$

$$a_2 = \frac{5(450)^2(59,231.26)}{48(110,538)(11664.11)} = 0.97 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 0.25 \text{ cm}$

ENSAYE 5. L=6.0 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{60.1(3.56)(1.78) + 18.8(18.56)(9.28)}{60.1(3.56) + 18.8(18.56)} = 6.43 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{60.1(3.56)^3}{12} + 60.1(3.56)(6.43 - 1.78)^2 + 2 \left[\frac{9.4(18.56)^3}{12} + 9.4(18.56)(9.28 - 6.43)^2 \right]$$

$$I_x = 17,702.78 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.789 = 102.57 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1.026(600)^2}{8} = 46,170 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.789 = 134.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1.341(600)^2}{8} = 60,345 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{max} = 106,515 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ox} = \frac{f_c I_x}{y_i}; f_c = 2 \cdot f_c'$$

$$M_{ox} = \frac{27.94(17,702.78)}{12.13} = 40,776.23 \text{ kg} - \text{cm}$$

$M_{ox} < M_{max} \therefore$ L de expresión (5.4):

$$I_e = -31,036.55 \text{ cm}^4 < 0 \therefore I_e = I_x$$

$$a_i = \frac{710.1(600)^2}{48 * 110538 * 17702.78} = 1.63 \text{ cm}$$

$$a_i = \frac{5(600)^2(106,515)}{48(110,538)(17,702.78)} = 2.04 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 1.23 \text{ cm}$

ENSAYE 6. L=6.0 m

Cálculo del centroide de la sección no agrietada:

$$x = \frac{59.2(4.04)(2.02) + 20(19.04)(9.52)}{59.2(4.04) + 20(19.04)} = 6.63 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{59.2(4.04)^3}{12} + 59.2(4.04)(6.63 - 2.02)^2 + 2 \left[\frac{10(19.04)^3}{12} + 10(19.04)(9.52 - 6.63)^2 \right]$$

$$I_x = 20,092.6 \text{ cm}^4$$

$$cm = 130 * 0.792 = 102.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cm} = \frac{1.03(600)^2}{8} = 46,530 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$cv = 170 * 0.792 = 134.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$M_{cv} = \frac{1.346(600)^2}{8} = 60,570 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{max} = 106,920 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ax} = \frac{I_x I_y}{y_x}; f_x = 2 \cdot f_y$$

$$M_{ax} = \frac{27.94(20,092.6)}{12.41} = 45,236.68 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{ax} < M_{max}; \therefore I_x \text{ de expresión (5.4):}$$

$$I_y = -69,184.23 \text{ cm}^4 < 0; \therefore I_y = I_x$$

$$a_x = \frac{712.8(600)^2}{48 * 110538 * 20,092.6} = 1.44 \text{ cm}$$

$$a_y = \frac{5(600)^2(106,920)}{48(110,538)(20,092.6)} = 1.81 \text{ cm}$$

Valor numérico obtenido en el laboratorio: $\delta_{lab} = 1.57 \text{ cm}$

5.7 CALCULO DE DEFORMACIONES DE LOSA ARMAVIGA CON EL MÉTODO DE LAS NORMAS TÉCNICAS DEL D.E. (NTCDE)

El caso del cálculo de deformaciones mediante las NTC, corresponde al primera parte del método de Yu y Winter, es decir sin afectar el valor obtenido de la sección agrietada por el factor que considera las partes no agrietadas en la zona de tensión

No. DE ENSAYE	RESULTADO DE LAB. (cm)	DEFORMACIONES EN cm		
		Yu y Winter	ACI	R.C.D.F.
1	0.09	0.11	0.10	0.15
2	0.07	0.11	0.09	0.16
3	0.29	0.46	0.78	0.53
4	0.25	0.46	0.78	0.53
5	1.23	1.34	1.63	1.41
6	1.57	0.99	1.44	1.06

Figuras de capítulo 5.

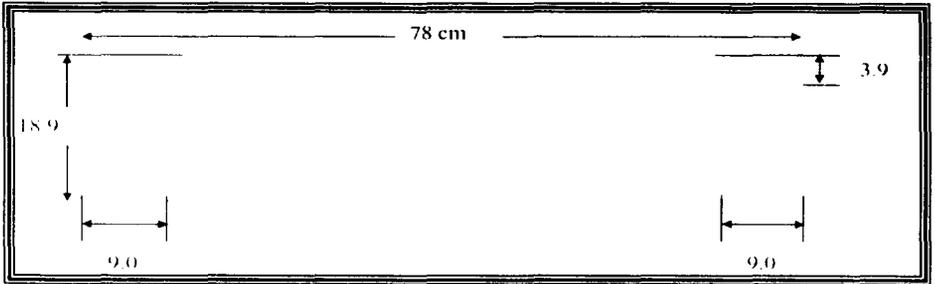


FIGURA 5.1 Corte transversal de losa, ensaye 1 (L=3.0 m)

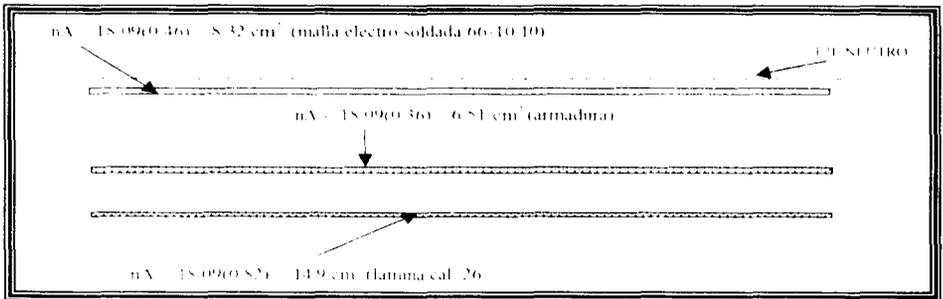


FIGURA 5.2 Sección agrietada transformada, ensaye 1 (L=3.0 m)

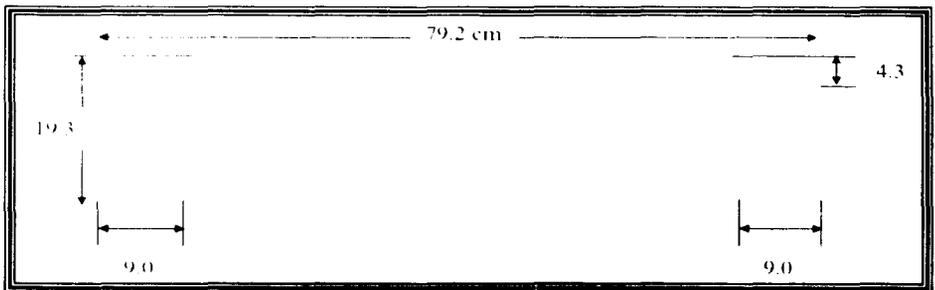


FIGURA 5.3 Corte transversal de losa, ensaye 2 (L=3.0 m)

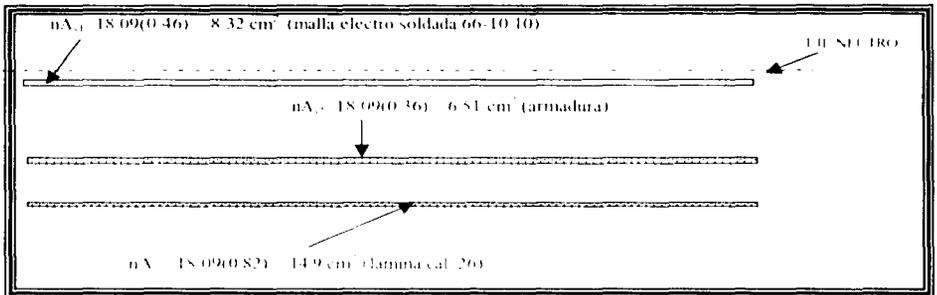


FIGURA 5 4 Sección alargada transformada, ensayo 2 (L = 3.0 m)

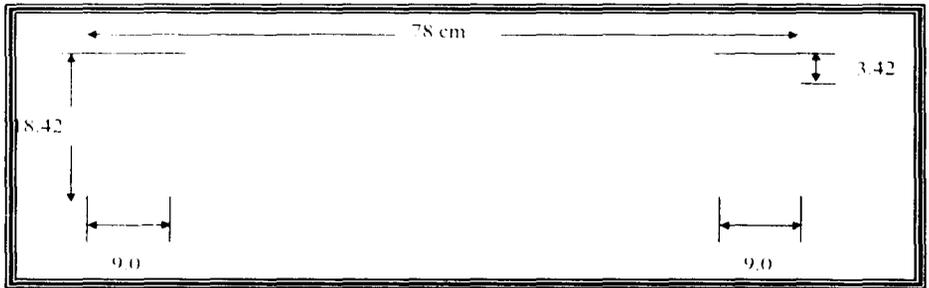


FIGURA 5 5 Corte transversal de losa, ensayo 3 (L = 4.5 m)

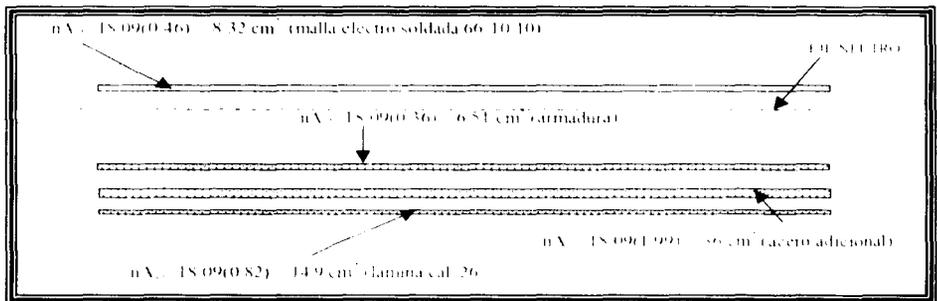


FIGURA 5 6 Sección alargada transformada, ensayo 3 (L = 4.5 m)

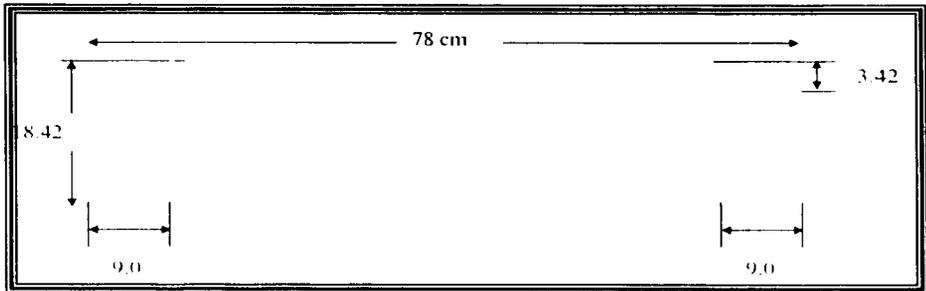


FIGURA 5.7 Corte transversal de losa - ensayo 4 (L = 4.5 m)

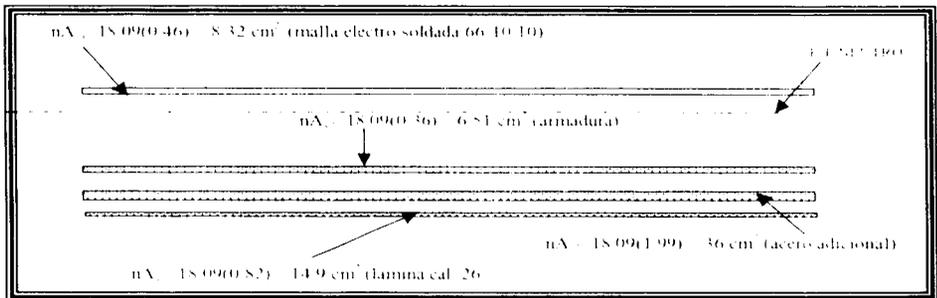


FIGURA 5.8 Sección apertada banda armada. ensayo 4 (L = 4.5 m)

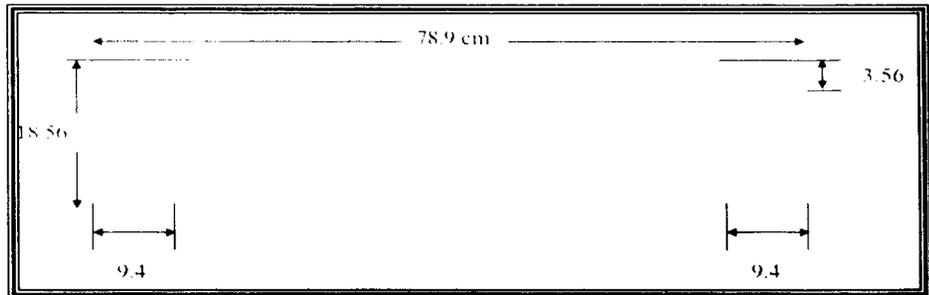


FIGURA 5.9 Corte transversal de losa, ensayo 5 (L = 6.0 m)

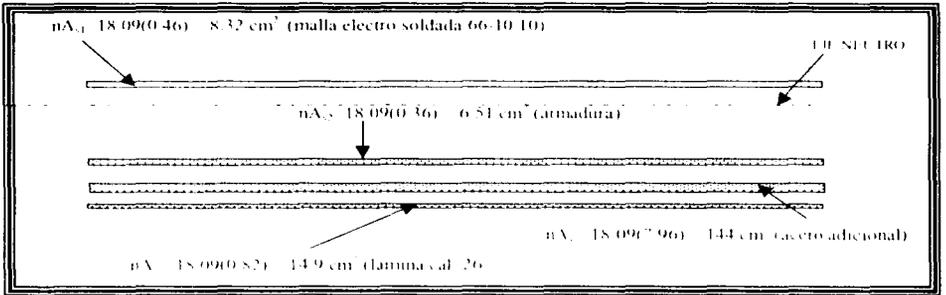


FIGURA 5.10 Sección acortada transformada - ensayo 5 (L = 4.5 m)

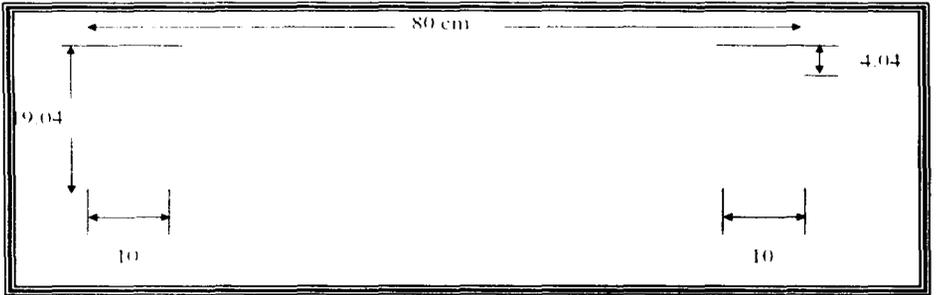


FIGURA 5.11 Corte transversal de losa - ensayo 6 (L = 6.0 m)

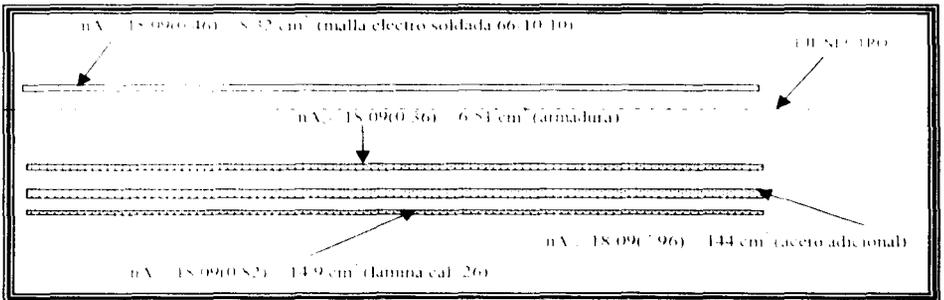


FIGURA 5.12 Sección acortada transformada - ensayo 6 (L = 6.0 m)

5.8 CONCLUSIONES

Puede concluirse que el mejor procedimiento para calcular deflexiones depende del nivel de flexión de la losa, y que si el momento actuante es menor al del momento de agrietamiento dado por la ecuación $M_R = f_r S$; donde f_r es el módulo de ruptura y S el módulo de sección agrietada.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se llevó a cabo un trabajo experimental y teórico para determinar la viabilidad de un novedoso sistema constructivo para usarse en losas de entrepiso o techo

El sistema constructivo se basa en el uso de una vigueta denominada ARMAVIGA, la cual se forma al electrosoldar una armadura prefabricada con una lámina doblada que tiene una forma especial, esto hace que sea un elemento muy ligero que puede manejarse con gran facilidad en obra

Las ventajas adicionales que se tienen al trabajar con este elemento respecto a los sistemas tradicionales de vigueta y bovedillas son, entre otras, las siguientes

- 1) Al no tener el patin de concreto, su peso es de solo 2 a 4 kilos, en lugar de los 15 kg que pesan las viguetas de alma abierta, o los 30 de las viguetas presforzadas**
- 2) Al colarse toda el alma de la vigueta con el firme de compresion, se obtiene una losa totalmente monolitica con gran rigidez**
- 3) Reduce notoriamente el tiempo de habilitado y colado de las losas, estudios preliminares indican que es del orden de la mitad**

Estudios analíticos y experimentales permiten establecer las siguientes recomendaciones para el apuntalamiento del sistema antes del colado

- a) En solo dos claros, no deben ser mayores a 1.6m**
- b) Al dividir en tres claros, estos no deben ser mayores a 2 metros**
- c) Cuando se divide en más claros, el primero y último serán no mayores de 1.8 metros, mientras que los intermedios podrán ser de hasta 2.4 metros**

Para determinar el comportamiento del sistema propuesto, se ensayaron seis vigas, dos de 3 metros de longitud, otras dos de 4.5 metros y dos de seis metros. Estos especimenes tenian aproximadamente 80 centimetros de ancho

Las losas se apoyaron simplemente en sus extremos y se les aplico una carga al centro del claro, obteniéndose la informacion necesaria para obtener las curvas carga deflexión hasta la falla, la cual solamente en una ocasion ocurrio de manera subita, teniéndose siempre una pérdida gradual de la resistencia, con grandes deformaciones, una vez que se alcanzo la capacidad máxima. Por limitaciones económicas no se instrumentaron los aceros para determinar cuando se iniciaba la fluencia en los distintos tipos de acero utilizados (grado 25, grado 42 y grado 60)

Se observó que el utilizar los principios básicos de la resistencia de materiales, es suficiente para determinar la resistencia a flexión de este sistema de losa, tal como se demuestra en el capítulo correspondiente

Para el cálculo de las deformaciones se observó que tiene gran influencia el nivel de flexión en la losa, y que si el momento flexionante actuante es menor al momento resistente al agrietamiento, calculado con la sección gruesa y el esfuerzo resistente a

tensión por flexión, las deformaciones teóricas coinciden muy aceptablemente con los valores observados durante los ensayos.

Al agrietarse la losa, todos los métodos usados sobrestiman la deformabilidad, siendo siempre el procedimiento de las NTCC, el que lo hace mayormente; siempre las deformaciones medidas fueron menores a las calculadas, por lo que será necesario poner atención a este aspecto para establecer procedimientos más realistas, más aún cuando en la realidad los sistemas de losas tienen un cierto grado de continuidad que en esta etapa experimental no se tomó en cuenta.

Finalmente cabe decir que se hicieron, concientemente, varios defectos constructivos en las losas para prever un posible mal comportamiento durante el proceso constructivo, el que mayor efecto tuvo fue el de traslapar la lámina, que se hizo en 4 especímenes, siendo en uno de ellos donde se inició la falla de la losa; sin embargo, si este tipo de vigueta se industrializa, tanto la armadura como la lámina no debieran traslaparse.

ANEXO 1. (PRUEBAS DE ARMADURAS CON DIFERENTES CLAROS)

PRUEBA No. 1 (PARA L=80 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro		Def (mm) al centro		Def (mm) al centro	
	del claro	apoyo (mm)	del claro	apoyo (mm)	del claro	apoyo (mm)
39 990	0 052	0 003	186 57	4 22441	0 76509	
46 090	0 046	0 006	192 76	4 29432	0 79111	
36 830	0 091	0 002	198 25	4 37062	0 81295	
38 320	0 146	0 004	206 43	4 45546	0 8457	
45 320	0 362	0 009	207 74	4 53705	0 86847	
57 470	0 589	0 021	203.1	4 6361	0 90783	
54 220	0 834	0 054	219 69	4 72391	0 93299	
54 550	1 040	0 074	212 92	4 80863	0 96615	
70 250	1 108	0 090	228 43	4 90537	0 99413	
66 730	1 153	0 116	218.83	4 9943	1 0252	
81 570	1 216	0 128	229 29	5 04554	1 04636	
76 110	1 279	0 150	235 53	5 12403	1 06669	
83 710	1 359	0 159	234.73	5 21337	1 0971	
78 800	1 440	0 182	233.7	5 30031	1 12179	
76 250	1 511	0 192	235 81	5 36933	1 14076	
87 120	1 613	0 206	243 44	5 46871	1 17318	
91 230	1 745	0 229	255 28	5 56743	1 19903	
83 400	1 873	0 249	249 49	5 64863	1 22706	
94 640	1 967	0 261	251 62	5 74318	1 25392	
101 180	2 057	0 266	266 63	5 82401	1 27813	
96 550	2 180	0 286	257 56	5 9077	1 30543	
108 950	2 362	0 299	260 22	5 99896	1 33566	
112 060	2 450	0 311	268 6	6 08911	1 36684	
105 040	2 599	0 336	277 31	6 18218	1 39405	
115 970	2 744	0 358	283 11	6 26415	1 41391	
120 130	2 900	0 381	287 79	6 35486	1 43605	
132 840	3 028	0 391	294 17	6 47929	1 4704	
134 060	3 146	0 409	296 42	6 6333	1 51002	
139 470	3 210	0 430	303 05	6 73755	1 53963	
131 810	3 296	0 459	292 43	6 88529	1 57825	
137 470	3 408	0 500	301 08	7 01836	1 6108	
157 140	3 547	0 543	311 51	7 18039	1 64441	
161 770	3 626	0 566	307 49	7 30071	1 67882	
157 640	3 724	0 606	320 83	7 45895	1 71269	
171 980	3 808	0 629	312 65	7 56436	1 7415	
175 530	3 882	0 648	319 78	7 78736	1 78875	
168 680	3 968	0 681	330 04	8 00433	1 82037	
185 880	4 043	0 697	133 61	20 14019	2 66238	
176 220	4 143	0 736				

PRUEBA No 2 (PARA L=80 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro	Def a 20 cm del apoyo (mm)	CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro	Def a 20 cm del apoyo (mm)
43 920	0 045	0 013	154.96	0 98328	1 21983
41 840	0 045	0.008	153 21	1 04818	1 27517
47 250	0 072	0 043	170 55	1 09484	1 30783
36 450	0 091	0 075	164 64	1 15477	1 35001
57 150	0 101	0.096	169 14	1 23885	1 40591
60 780	0 117	0 125	178.15	1 30624	1 44784
52 290	0 144	0.160	182 59	1 37088	1 4843
62 390	0 156	0 186	177 6	1 44307	1 52662
68 440	0 164	0.211	174 91	1 51649	1 5725
59 260	0.191	0 248	191.75	1 5982	1 61877
71 350	0 203	0 274	196 93	1 73657	1 69693
68 130	0 227	0.314	199 82	1 80437	1 73371
71 020	0 245	0.343	192.33	1 89552	1 78223
72 100	0 256	0.374	201.87	1 98182	1 82846
80 510	0 270	0.408	204.81	2 08935	1 88404
90 240	0.286	0.428	219 96	2 24177	1 95191
99 700	0 341	0.463	222.18	2 36513	2 01602
87 080	0 387	0.500	226 95	2 45667	2 05307
90 020	0 424	0.532	225 26	2 57024	2 10751
97 650	0 458	0.567	238 85	2 66544	2 14672
100 780	0 491	0.598	239.13	2 7554	2 18214
104 590	0 517	0.632	237 82	2 84753	2 22384
100 200	0 547	0.671	243.95	2 9577	2 27044
100 230	0 563	0.699	245 92	3 04408	2 30494
104 640	0 583	0.741	256 6	3 15316	2 34424
114 790	0 585	0.771	253 16	3 27498	2 39833
114 380	0 593	0 808	251 8	3 39468	2 44092
121 900	0 584	0 837	259 9	3 53863	2 49172
122 010	0 615	0.887	265 06	3 64013	2 53241
120 730	0 661	0.936	277 58	3 74137	2 56217
132 880	0 691	0.962	273 55	3 86997	2 60031
133 960	0 751	1 020	277 21	4 02339	2 65435
139 230	0 814	1 072	277 6	4 26462	2 72601
136 290	0 860	1 113	290 34	4 52469	2 78719
148 000	0 898	1 145	285 68	4 83129	2 86472
149 110	0 944	1 187	268 92	6 46671	3 04009

PRUEBA No 3 (PARA L=120 cm)

Def (mm) al centro del claro		Def (mm) al centro del claro	
CARGA (KG)	claro	CARGA (KG)	del claro
11 800	0.128	144 600	4 559
16 930	0.247	149 260	4 695
12 270	0.348	146 160	4 806
25 360	0.514	159 840	4 928
25 110	0.652	154 560	5 087
28 770	0.794	161 670	5.212
35 520	0.881	159 700	5.339
35 630	1.027	169 300	5.464
44.120	1.228	174 430	5.574
42 420	1.327	172.760	5 678
52.880	1.456	172.760	5 846
63.180	1.599	182 560	5 970
55 710	1.721	182 090	6 116
65 060	1.856	191 410	6.303
63 590	1.986	189 160	6.437
63.980	2.108	200 060	6 561
67 500	2.235	204 090	6 687
73 500	2.389	201 730	6 784
76 940	2.506	211 220	6.885
86.760	2.642	214 460	7 024
91.560	2.787	218 540	7 173
93.750	2.890	215 130	7.322
95.170	3.031	218.620	7 504
100.130	3.137	223.870	7 672
104.790	3.260	224 510	7 828
114 170	3.374	229 670	7 981
105 850	3.534	232 610	8 178
119.410	3 643	234 050	8.354
123 130	3 771	236 880	8 657
120 490	3.872	239 150	9 025
121 660	3.994	237 960	9.523
126.650	4 168	239 180	10 421
132 980	4 307	143 490	19 728
133.980	4 421		

PRUEBA No. 4 (PARA L=120 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro	CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro
7.810	-0.028	130.190	4.204
7.140	0.099	132.800	4.296
16.080	0.216	140.200	4.408
21.710	0.324	141.340	4.533
17.710	0.449	149.500	4.644
23.210	0.556	156.040	4.748
31.310	0.680	147.170	4.865
36.390	0.819	154.490	5.000
31.730	0.947	159.100	5.100
44.100	1.074	168.940	5.193
46.650	1.158	159.960	5.324
48.070	1.276	175.300	5.462
44.710	1.398	174.130	5.562
57.220	1.527	170.000	5.678
53.120	1.638	176.800	5.790
57.360	1.769	181.620	5.900
70.460	1.886	184.070	6.035
65.020	1.992	191.780	6.153
69.210	2.119	197.770	6.283
70.010	2.227	190.090	6.419
83.690	2.329	204.180	6.554
86.990	2.452	196.770	6.684
81.860	2.563	209.980	6.820
96.200	2.683	210.700	6.997
98.840	2.808	216.770	7.141
95.810	2.936	211.200	7.265
105.800	3.049	224.290	7.426
99.810	3.165	226.150	7.590
104.610	3.291	226.900	7.793
112.510	3.408	225.260	8.021
115.570	3.514	225.870	8.466
121.530	3.630	229.400	8.869
120.810	3.758	228.230	9.948
121.110	3.892	154.490	17.447
122.450	3.994	148.530	18.237
132.710	4.082	149.080	18.237

PRUEBA No. 5 (PARA L=120 cm)

Def (mm) al centro del claro		Def (mm) al centro del claro	
CARGA (KG)		CARGA (KG)	
12 970	-0 027	168.280	5.173
19 660	0 183	179 350	5 428
18 880	0 402	191 670	5 705
30 030	0.677	187 260	5.898
43 410	0 997	200 050	6 155
47 510	1 250	211 030	6 425
59 890	1 499	218 160	6 693
61 500	2 021	218 440	7 008
68 430	2 096	234.030	7.454
76 030	2 286	236 580	7.744
83.860	2.513	237.560	8.186
94 840	2.705	230.150	9.601
101 140	2.865	229 870	10 218
100 170	3 039	231 120	10 909
116 840	3.327	171.170	15.675
123 090	3 554	167 230	16 151
125 030	3 789	163 370	16 970
131 910	3 990	158.760	18.141
143 140	4 176	152.580	19.183
144 140	4 372	144.670	19.291
152 190	4.606	9.090	6.046
158 930	4.793		
163.590	5 005		

PRUEBA No 6 (PARA L=120 cm)

Def (mm) al centro del claro		Def (mm) al centro del claro	
CARGA (KG)		CARGA (KG)	
25 870	0.574	171.690	6.143
32 470	0.886	188 030	6.486
32 940	1.207	189 360	6.769
44 400	1.587	193 690	7.041
56 470	1.861	211 890	7.299
58 830	2.148	218 490	7.634
66 760	2.383	227 370	7.970
72 590	2.673	231.560	8.383
80 190	2.922	240.820	9.011
98.890	3.184	238.580	9.998
104.220	3.466	219.160	11.315
106.410	3.707	208.480	12.130
115.200	3.982	190.690	13.486
125.050	4.233	155.620	18.108
132.680	4.510	149.600	18.259
131.820	4.754	145.250	18.399
144.360	5.102	146.580	18.663
152.570	5.330	10.080	5.832
165.610	5.614		
173.550	5.894		

PRUEBA No 7 (PARA L=160 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del		CARGA (KG)	Def (mm) al centro	
	claro	Def. a 20 cm del apoyo (mm)		del claro	Def. a 20 cm del apoyo (mm)
46 600	0.035	-0.035	115.580	3 720	1.661
48 100	0.207	0.035	129 740	3 855	1 732
42 410	0.319	0.085	127 830	3 974	1 788
43 830	0.426	0.138	132 430	4 203	1 891
57 890	0.609	0.220	128 470	4 322	1 942
60 720	0.789	0.305	136.820	4 454	2.008
68 070	1.143	0.475	144.190	4 610	2.082
75 980	1.346	0.560	141.090	4 850	2 189
69 240	1.549	0.655	151.770	5 110	2 310
81 390	1.779	0.761	156.480	5 285	2.389
84 140	1.982	0.856	154.870	5 498	2.485
84 940	2.161	0.923	159.310	5 781	2.606
92 870	2.247	0.956	159 780	5 987	2.697
91 460	2.465	1.058	171.300	6 325	2.844
97 650	2.630	1.138	168.130	6 864	3.067
102 140	2.778	1.209	149.520	9 478	4 127
99 870	2.921	1.275	139.760	10 516	4.542
105 610	3.049	1.339	126.080	11 266	4.834
105 720	3.206	1.414	119.010	11 704	5.007
109 050	3.372	1.492	115.120	11.827	5.263
111 070	3.523	1.566	120.500	11.770	5.813

PRUEBA No. 8 (PARA L=160 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del		Def (mm) al centro Def. a 20 cm del apoyo		
	claro	apoyo (mm)	CARGA (KG)	del claro	del apoyo (mm)
35 620	0.008	-0.051	138.43	4.4277	2.00483
38 980	0.179	0.015	144.97	4.69143	2.11627
51 400	0.441	0.105	149.13	4.9807	2.24037
53 510	0.542	0.137	148.16	5.21304	2.33608
56 510	0.682	0.208	155.87	5.5225	2.47089
52 900	0.888	0.311	155.93	5.71435	2.54591
58 390	1.012	0.374	159.73	5.86381	2.61058
63 280	1.174	0.457	159.23	6.07585	2.6967
74 930	1.361	0.550	163.34	6.32962	2.7956
72 210	1.568	0.651	172.05	6.54236	2.88101
78 510	1.779	0.755	171.41	8.29181	3.47822
76 040	1.990	0.861	158.93	9.03379	3.72758
83 250	2.125	0.926	165.06	9.63978	3.93602
94 460	2.276	1.005	157.62	10.47115	4.22163
90 630	2.446	1.089	158.01	11.00935	4.40469
96 900	2.582	1.164	147.58	11.75311	4.66689
104 940	2.862	1.303	142.06	12.59336	4.97107
104 920	3.131	1.415	132.93	13.96181	5.47973
114 540	3.491	1.583	118.79	15.16206	5.91399
124 640	3.681	1.672	98.34	21.37892	8.18265
124 110	3.880	1.761	93.87	24.60458	9.36858
133 180	4.200	1.905			
138 430	4.428	2.005			

PRUEBA No 9 (PARA L=280 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro
8 590	0 000
30 590	5 000
64 590	10 000
96.590	15.000
90 590	20 000
74 590	25 000
66 590	30 000
58 590	35 000
52 590	40 000
49 590	45 000

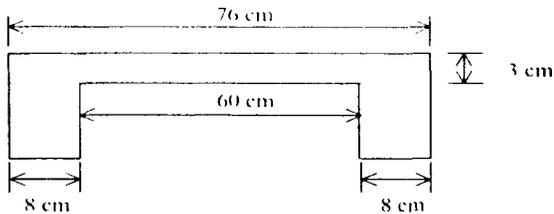
PRUEBA No 10 (PARA L=600 cm)

CARGA (KG)	Def (mm) al centro del claro
6.810	-0.022
9.090	-0.022
10.310	-0.022
9.860	0.877
11.050	2.456
12.860	3.878
17.660	7.030
22.840	11.058
22.430	14.238
26.200	18.588
32.580	27.081
21.180	33.570

ANEXO 2. DISEÑO DE CONCRETO MÉTODO ACI

Para el cálculo de las cantidades de agregados del concreto, se consideró el método ACI, y se procedió de la siguiente forma

Cálculo del volumen de concreto a utilizar para las losas de 4.5 metros de claro:



$$\text{Volumen} = (0.76 \cdot 0.03 + 0.8 \cdot 0.15 \cdot 0.02) \cdot 4.5 = 0.11124 \text{ m}^3$$

Más un 2% de desperdicio:

$$0.11124 \text{ m}^3 \cdot 1.02 = 0.1135 \text{ m}^3$$

De gráfica resistencia del concreto Vs. Relación agua cemento (A/C)



Para una $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ se tiene:

$$A/C = 0.67$$

Se considera un módulo de finura para la arena de 2.9 y un revenimiento de 15 – 18 cm así como un T.M.A. de 13 mm, para obtener de la siguiente tabla la relación siguiente:

REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE LA MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.

Agua en kilogramos por metro cúbico de concreto para los tamaños máximos de agregados

Revenimiento (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50	75
	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO						
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
CONTENIDO DE AIRE POR CIENTO	3	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

cantidad de agua por m³ de concreto: $230 \frac{kg}{m^3}$

$$230/1=230$$

$$cemento = \frac{230}{0.67} = 343.28kg$$

$$343.28/3 = 114.33 \text{ kg}$$

de la tabla siguiente se obtiene la cantidad de agregado grueso por metro cúbico de concreto:

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO					
Tamaño máximo de agregado	Volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena				
	240	260	280	300	
10	0.50	0.48	0.48	0.44	
13	0.59	0.57	0.55	0.53	
20	0.66	0.64	0.62	0.60	
25	0.71	0.69	0.67	0.65	
40	0.75	0.73	0.71	0.69	
50	0.78	0.76	0.74	0.72	
75	0.81	0.79	0.77	0.75	
150	0.87	0.85	0.83	0.81	

Interpolando para un módulo de finura de 2.9, y un T.M.A. de 13 mm, se obtiene de volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto:

0.54 entonces:

cantidad de agregado grueso por m3 concreto = 0.54 * peso volumétrico de grava

$$0.54 * 1,392 \text{ kg/m}^3 = 751.68 \text{ kg/m}^3$$

$$751.68/2.25=334.08$$

Sumando todas las cantidades anteriores y restándolas al peso volumétrico del concreto se obtiene la cantidad de arena tentativamente:

$$2,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,324.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 875.04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \text{grava}$$

pero como se tiene un volumen que ocupa el aire de Figura 1, se tiene:

$$0.025 * 1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 25.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ aire}$$

sumando todos los volúmenes que ocupa

agua -----	230.00 m ³
cemento-----	114.33 m ³
grava -----	334.08 m ³
	<hr/>
	678.42 m ³

$$1000 \text{ m}^3 - 678.42 \text{ m}^3 = 321.58 \text{ m}^3$$

menos el volumen que ocupa el aire

$$321.58 - 25 = 296.58 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Así, se tienen los siguientes resultados de cada agregado para elaborar un metro cúbico de concreto con una resistencia a la compresión de 200 kg / cm²:

agua -----	230.00 m ³
cemento-----	114.33 m ³
grava -----	334.08 m ³
arena-----	296.58 m ³

Así, tenemos que para obtener la cantidad necesaria para un volumen dado de concreto, tenemos

agua -----	230.00 m ³ * 0.1135 = 26.0 m ³ aprox.	26m ³
cemento-----	114.33 m ³ * 0.1135 = 12.98 m ³	13 m ³
grava -----	334.08 m ³ * 0.1135 = 37.92 m ³	38 m ³
arena-----	296.58 m ³ * 0.1135 = 33.66 m ³	34 m ³

ANEXO 3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DESTRUCTIVAS OBTENIDOS CON EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD).

DATOS DE ENSAYE F1 FOSA F1 DE 2 (L = 30 mm)

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA	DEF. (mm)
62.80	0.02	1.537.48	9.87
107.68	0.08	1.645.06	10.89
154.20	0.20	1.728.11	11.92
201.61	0.31	1.753.08	12.57
240.20	0.44	1.659.60	12.60
297.59	0.61	1.729.95	12.62
332.10	0.78	1.690.17	12.63
386.50	0.99	1.581.48	12.35
433.02	1.25	1.491.71	12.03
479.07	1.52	1.390.90	11.67
455.35	1.70	1.286.10	11.28
457.35	1.70	1.179.88	10.87
397.04	1.66	1.066.53	10.43
357.82	1.56	965.36	9.99
305.28	1.43	858.42	9.50
305.92	1.43	753.65	8.99
322.14	1.43	647.96	8.47
374.82	1.51	550.78	7.92
431.41	1.62	446.09	7.34
480.85	1.75	329.97	6.74
528.45	1.94	236.54	6.11
573.53	2.20	129.40	5.40
629.45	2.52	15.32	4.59
671.17	2.86	200.17	5.20
718.67	3.16	386.56	6.13
757.59	3.76	403.62	6.28
706.96	3.72	803.52	7.32
647.04	3.61	808.02	8.36
803.76	3.47	1.004.75	9.31
543.71	3.34	1.210.20	10.23
493.19	3.19	1.391.79	11.10
440.65	3.03	1.587.44	12.01
390.66	2.85	1.774.16	13.06
348.77	2.67	1.965.13	15.08
290.66	2.48	2.131.13	18.13
302.92	2.46	2.273.21	21.80
336.24	2.48	2.287.20	22.39
379.15	2.60	2.303.65	23.07
428.03	2.74	2.340.87	24.24
481.68	2.89	2.369.36	25.42
525.87	3.04	2.422.90	28.19
574.22	3.19	2.513.70	31.18
624.35	3.35	2.543.93	36.20
677.03	3.51	2.553.84	36.96
734.28	3.66	2.572.09	38.64
778.89	3.82	2.636.45	44.31
883.17	4.32	1.908.95	50.76
971.30	4.97	1.881.27	50.76
1.077.21	5.68	1.182.17	47.99
1.160.85	6.43		
1.261.85	7.24		
1.360.25	8.08		
1.451.54	8.97		

Comportamiento
elástico lineal

DATOS ENSAYE 2. LOSA 2 DE 2 L=3.0 m)

CARGA (KG9	DEF.(MM)	CARGA (KG9	DEF. (MM)
62.66	0.00	792.47	3.80
113.86	0.01	738.47	3.65
143.38	0.01	695.36	3.51
167.89	0.05	663.06	3.41
190.51	0.09	634.29	3.32
223.00	0.15	620.01	3.25
250.42	0.22	599.14	3.19
266.69	0.24	568.09	3.09
294.66	0.29	557.61	3.04
328.76	0.37	503.80	2.86
340.74	0.40	443.81	2.64
368.40	0.47	406.30	2.51
411.51	0.58	385.32	2.42
422.10	0.61	349.75	2.25
444.97	0.66	328.46	2.18
480.07	0.77	329.95	2.17
489.25	0.82	311.24	2.10
521.85	0.90	283.05	2.01
546.94	1.02	265.00	1.89
561.77	1.08	254.41	1.89
592.87	1.21	298.16	1.93
612.28	1.30	309.91	1.96
637.56	1.43	332.45	2.02
660.65	1.56	369.62	2.11
705.48	1.74	397.65	2.21
711.94	1.81	427.65	2.27
726.46	1.90	460.33	2.39
760.90	2.09	475.86	2.42
781.60	2.22	499.92	2.53
807.66	2.39	533.24	2.61
858.01	2.62	581.28	2.78
878.10	2.77	594.67	2.81
890.27	2.92	646.24	3.02
915.67	3.09	685.35	3.11
950.02	3.32	699.82	3.18
973.50	3.44	750.83	3.36
1,006.54	3.77	775.03	3.42
1,025.84	3.92	802.12	3.53
1,059.93	4.09	831.42	3.60
1,071.83	4.17	855.68	3.70
1,050.48	4.35	874.08	3.75
1,015.74	4.32	891.49	3.82
993.07	4.28	928.42	3.93
947.74	4.18	946.08	4.01
897.76	4.08	986.97	4.14
857.51	3.99	986.50	4.19

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
1,045.71	4.39	1,755.18	15.03
1,067.14	4.48	1,681.47	14.74
1,089.13	4.61	1,615.15	14.51
1,122.03	4.75	1,543.41	14.28
1,142.71	4.84	1,503.32	14.12
1,144.24	4.86	1,410.20	13.77
1,161.29	5.01	1,347.91	13.50
1,177.25	5.13	1,308.66	13.33
1,203.15	5.26	1,262.83	13.14
1,212.21	5.35	1,218.12	12.92
1,232.06	5.43	1,109.00	12.47
1,244.40	5.59	1,059.60	12.22
1,267.46	5.72	1,052.26	12.18
1,286.06	5.89	1,089.26	12.20
1,315.09	6.09	1,140.66	12.36
1,354.29	6.42	1,149.03	12.39
1,362.91	6.50	1,172.01	12.45
1,379.43	6.65	1,195.36	12.59
1,418.19	6.93	1,230.70	12.66
1,468.64	7.36	1,244.51	12.74
1,489.41	7.61	1,270.07	12.85
1,524.47	7.93	1,301.39	12.93
1,543.63	8.09	1,310.10	13.01
1,581.32	8.27	1,345.47	13.12
1,607.23	8.57	1,372.92	13.19
1,623.91	8.76	1,396.18	13.33
1,635.89	8.96	1,428.97	13.41
1,669.60	9.25	1,438.09	13.48
1,701.70	9.55	1,452.09	13.54
1,725.29	9.77	1,471.53	13.62
1,745.70	10.01	1,502.52	13.71
1,776.55	10.34	1,520.68	13.82
1,793.93	10.55	1,543.13	13.90
1,823.90	10.89	1,594.22	14.04
1,846.80	11.16	1,602.71	14.11
1,866.54	11.50	1,624.33	14.19
1,892.43	11.85	1,676.14	14.37
1,925.28	12.15	1,700.87	14.51
1,940.81	12.41	1,731.59	14.59
1,974.68	12.84	1,757.12	14.68
1,992.62	13.14	1,780.49	14.78
2,025.72	13.64	1,809.57	14.88
2,036.92	13.94	1,811.51	14.95
2,050.28	14.06	1,836.65	15.01
2,053.36	14.42	1,847.80	15.05
2,073.43	14.97	1,882.34	15.18
2,102.87	16.06	1,894.73	15.23
1,905.96	15.52	1,921.18	15.35
1,780.18	15.12	1,956.52	15.52

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
1.978 42	15.58	2.355 92	23 35
2.000 16	15.71	2.370 03	23 50
2.026 22	15.79	2.365 45	23 55
2.049 67	15.90	2.382 56	23 75
2.077 03	16.03	2.384 83	24 29
2.103 59	16.23	2.407 98	25 01
2.116 12	16.34	2.429 80	25 92
2.143 79	16.51	2.459 85	27 18
2.165 33	16.75	2.500 54	28 89
2.181 63	17 00	2.503 18	29 49
2.177 36	17.17	2.527 21	30 98
2.192 97	17.42	2.548 12	32 29
2.194 71	17.53	2.558 76	33 02
2.204 94	17.78	2.596 96	35 49
2.200 56	17.97	2.602 42	36 85
2.211 15	18.20	2.600 12	38 12
2.222 19	18.41	2.594 41	38 54
2.230 81	18.63	2.580 30	38 96
2.243 03	18.85	2.582 10	39 18
2.252 43	19.00	2.564 33	39 40
2.249 69	19 18	2.564 94	39 77
2.254 82	19 36	2.546 15	40 07
2.269 95	19 75	2.544 51	40 30
2.277 46	19.95	2.520 42	40 62
2.284 20	20 10	2.504 48	40 96
2.268 90	20.11	2.493 81	41 22
2.270 53	20.25	2.232 97	42 71
2.279 76	20.30	1.867 12	44 59
2.281 65	20.36	1.850 10	44 59
2.280 10	20.43	1.844 55	44 59
2.281 12	20.46	1.835 49	44 59
2.288 19	20.68	1.378 10	48 42
2.290 35	20.79	1.356 09	48 42
2.283 62	20.94	1.341 45	48 42
2.287 36	21 04	1.208 86	47 97
2.294 90	21.10		
2.286 11	21.23		
2.292 18	21 33		
2.297 76	21 43		
2.306 85	21 53		
2.307 82	21 74		
2.303 27	21 83		
2.305 69	21 93		
2.306 05	22.03		
2.306 88	22 14		
2.321 93	22 34		
2.324 67	22 54		
2.320 90	22 74		
2.332 91	22 96		

DATOS ENSAYE 3. LOSA 1 DE 2 L=4.5 m)

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
38 17	0.02	979.82	6.37
77 86	0.17	1,003.01	6.51
128 35	0.40	1,035.41	6.79
130 04	0.42	1,041.46	6.87
156 78	0.53	1,081.60	7.18
167 94	0.60	1,085.15	7.28
181 92	0.66	1,116.72	7.51
179 62	0.67	1,132.53	7.72
188 52	0.70	1,158.02	7.95
229 69	0.91	1,180.19	8.09
229 94	0.91	1,184.90	8.20
240 95	0.97	1,209.81	8.38
252 82	1.01	1,236.00	8.68
269 02	1.13	1,248.95	8.76
273 43	1.16	1,286.27	9.12
298 29	1.26	1,304.32	9.29
318 93	1.36	1,338.17	9.51
322 37	1.42	1,342.11	9.62
339 32	1.51	1,355.78	9.74
373 72	1.72	1,368.16	9.90
399 68	1.86	1,395.01	10.12
428 97	2.04	1,395.70	10.26
452 30	2.14	1,424.75	10.50
478.30	2.34	1,431.57	10.75
514 03	2.53	1,471.96	11.14
532 42	2.68	1,523.31	11.56
534 92	2.72	1,520.95	11.69
553 61	2.82	1,562.28	12.17
580 30	3.01	1,578.10	12.27
584 02	3.04	1,609.41	12.59
616 44	3.25	1,646.59	12.95
629 79	3.37	1,666.70	13.12
638 36	3.42	1,693.75	13.38
665 63	3.61	1,712.69	13.54
686 07	3.75	1,725.70	13.67
686 32	3.79	1,748.67	14.00
715 03	3.99	1,789.12	14.34
729 85	4.15	1,800.91	14.50
757 81	4.35	1,833.97	14.77
787 55	4.57	1,850.70	14.94
806 02	4.75	1,853.70	15.02
834 62	5.00	1,896.25	15.47
849 55	5.13	1,925.02	15.73
889 66	5.45	1,942.11	15.97
919 23	5.73	1,992.70	16.40
932 82	5.89	2,006.10	16.57
967 17	6.13	2,042.39	16.88
985 42	6.33	2,057.70	17.05
		2,089.88	17.37

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
2.134.24	17.76	3.637.16	35.38
2.161.45	18.08	3.653.31	35.65
2.192.77	18.43	3.667.67	35.97
2.212.71	18.60	3.683.29	36.22
2.245.98	18.91	3.694.53	36.52
2.257.54	19.04	3.697.11	36.82
2.298.16	19.49	3.714.61	36.98
2.341.46	19.89	3.725.54	37.77
2.359.05	20.03	3.734.31	38.16
2.392.50	20.43	3.744.57	38.71
2.405.01	20.60	3.755.28	39.57
2.430.62	20.83	3.765.49	40.23
2.463.18	21.14	3.771.45	40.71
2.514.36	21.66	3.776.72	41.04
2.565.19	22.26	3.784.52	41.63
2.614.56	22.78	3.796.67	42.62
2.672.24	23.31	3.793.45	43.39
2.710.21	23.75	3.802.41	43.94
2.725.86	23.93	3.803.66	44.25
2.764.50	24.31	3.806.74	44.57
2.776.48	24.50	3.806.29	44.81
2.819.26	24.93	3.809.71	45.17
2.827.36	25.12	3.827.49	45.61
2.882.84	25.63	3.824.38	46.09
2.930.67	26.17	3.826.60	46.53
2.940.04	26.37	3.833.34	46.88
2.985.34	26.87	3.837.75	47.33
3.022.07	27.24	3.842.55	47.89
3.054.86	27.61	3.849.24	48.27
3.088.43	28.08	3.853.62	48.57
3.162.10	28.83	3.853.81	48.88
3.205.85	29.47	3.859.78	49.15
3.251.85	30.02	3.862.22	49.28
3.300.00	30.59	3.862.72	49.53
3.338.53	31.11	3.866.99	49.77
3.357.18	31.30	3.868.02	50.05
3.372.41	31.49	3.881.28	50.39
3.399.79	31.88	3.888.10	50.77
3.417.93	32.10	3.899.64	51.09
3.443.50	32.49	3.908.46	51.36
3.471.94	32.82	3.921.61	51.73
3.509.17	33.35	3.944.58	52.00
3.545.62	33.84	3.945.16	52.04
3.552.61	34.03	3.951.21	52.04
3.578.05	34.34	3.958.53	52.03
3.610.14	34.85	3.961.61	52.00
3.616.99	35.01	3.965.14	51.97

DATOS ENSAYE 4 LOSA 2 DE 2 L=4 5 m)

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
35.82	0.02	754.72	17.97
32.83	0.02	653.16	16.36
42.70	0.02	554.07	14.70
72.38	0.35	454.09	12.99
114.91	0.84	351.98	11.18
160.07	1.39	243.24	9.18
207.18	2.08	148.81	7.31
250.42	2.75	165.81	7.37
298.27	3.55	257.80	8.69
343.21	4.34	359.28	10.27
389.74	5.29	449.24	11.78
440.42	6.18	554.65	13.47
488.55	7.14	646.86	15.00
538.87	8.10	753.11	16.74
588.05	9.05	849.23	18.36
637.01	9.98	954.34	20.05
685.14	11.00	1,050.26	21.63
737.66	12.03	1,154.85	23.28
786.67	13.03	1,261.34	24.97
838.74	14.06	1,360.98	26.62
890.89	15.12	1,458.19	28.37
943.13	16.24	1,507.48	29.29
991.09	17.27	1,559.36	30.32
1,044.44	18.36	1,609.54	31.38
1,095.12	19.44	1,663.63	32.45
1,154.01	20.69	1,713.46	33.59
1,201.50	21.71	1,763.08	34.71
1,251.47	22.79	1,810.80	35.84
1,302.29	23.91	1,864.20	37.18
1,354.47	25.10	1,906.28	38.36
1,404.93	26.21	1,637.53	35.22
1,447.37	27.23	1,622.94	35.00
1,439.43	27.37	1,553.39	34.00
1,434.91	27.37	1,549.81	33.96
1,431.14	27.37	1,514.00	33.47
1,430.64	27.37	1,464.82	32.71
1,429.37	27.37	1,399.88	31.76
1,425.54	27.37	1,264.89	29.67
1,407.87	27.31	1,213.18	28.86
1,379.04	27.00	1,147.94	27.82
1,355.60	26.70	1,070.18	26.58
1,261.62	25.47	1,040.11	26.05
1,251.41	25.31	945.65	24.49
1,226.39	25.00	836.22	22.65
1,149.71	23.95	613.10	18.75
1,055.15	22.56	575.49	18.10
951.84	21.05	545.36	17.49
844.26	19.42	317.75	13.31

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
292.28	12.81	1,919.79	39.12
252.56	11.99	1,937.99	39.43
221.18	11.35	1,970.64	40.06
147.98	9.85	1,991.03	40.50
113.91	9.12	2,030.67	41.32
89.42	8.55	2,042.29	41.59
60.54	7.91	2,074.36	42.24
28.94	7.11	2,092.25	42.63
28.97	7.00	2,122.60	43.29
7.22	6.11	2,078.13	43.29
38.79	6.50	2,097.80	43.64
91.05	7.31	2,112.64	43.91
146.06	8.24	2,108.26	44.13
198.80	9.12	2,048.45	43.41
249.15	9.97	2,006.03	42.86
282.93	10.56	1,953.38	42.15
345.05	11.67	1,819.51	40.31
374.56	12.24	1,733.15	39.00
454.68	13.66	1,671.96	38.09
487.80	14.29	1,614.98	37.22
530.99	15.05	1,553.92	36.27
555.40	15.50	1,511.45	35.62
597.73	16.27	1,365.53	33.35
649.00	17.16	1,189.58	30.50
689.69	17.91	1,132.96	29.51
752.50	18.99	1,068.71	28.48
804.48	19.91	1,026.88	27.76
852.97	20.76	975.56	26.87
903.38	21.63	906.62	25.67
953.92	22.53	855.08	24.77
993.73	23.21	811.14	23.96
1,047.88	24.14	776.88	23.36
1,103.39	25.09	739.79	22.66
1,153.82	25.93	705.89	22.03
1,203.03	26.79	668.00	21.33
1,253.35	27.65	625.03	20.59
1,292.27	28.27	577.51	19.66
1,345.76	29.23	539.37	18.92
1,445.45	30.87	467.27	17.61
1,496.08	31.74	361.05	15.55
1,570.54	33.05	302.60	14.34
1,590.87	33.37	174.08	11.64
1,641.19	34.27	140.71	10.89
1,672.51	34.79	98.16	9.97
1,692.32	35.13	73.66	9.42
1,737.48	35.90	60.76	9.04
1,793.18	36.82	49.53	8.80
1,819.81	37.32	33.38	8.39
1,842.14	37.73	19.57	8.05
1,891.66	38.60	6.33	7.49

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
18 48	7.49	2,196.17	46.82
35 10	7.71	2,216.42	47.18
46 28	7.87	2,228.01	47.37
84 90	8.50	2,253.40	47.83
144 81	9.54	2,265.80	48.05
249 01	11.40	2,277.31	48.29
265 26	11.72	2,291.54	48.59
295 47	12.31	2,301.53	48.73
352 62	13.34	2,309.15	48.92
385 46	13.98	2,325.33	49.21
440 56	14.99	2,333.93	49.42
476 81	15.65	2,356.37	49.85
544 50	16.90	2,379.86	50.30
597 29	17.91	2,406.41	50.84
650 69	18.84	2,426.00	51.24
753 22	20.72	2,450.71	51.72
816 63	21.82	2,477.23	52.26
855 53	22.56	2,498.84	52.70
885 32	23.09	2,504.48	53.01
915 14	23.63	2,508.25	53.08
946 88	24.18	2,511.85	53.42
972 17	24.63	2,505.95	53.66
1 012 23	25.31	2,551.77	54.16
1,055 67	26.11	2,587.86	54.54
1,103 36	26.93	2,601.40	54.70
1,156 95	27.87	2,612.80	54.81
1,204 39	28.71	2,628.34	54.97
1,249 08	29.44	2,656.58	55.25
1,288 30	30.17	2,698.27	55.59
1,333 38	30.91	2,703.24	55.63
1,376 58	31.65	2,720.85	55.74
1,435 30	32.66	2,734.97	55.83
1,474 19	33.29	2,748.67	55.91
1,502 77	33.80	2,770.26	56.30
1,578 05	35.09	2,790.65	56.43
1,736 31	37.70	2,799.44	56.73
1,828 38	39.30	2,819.61	56.25
2,009 03	42.39	2,852.29	56.33
2,050 50	43.13	2,877.53	56.36
2,102 74	44.07	2,881.94	56.36
2,156 78	45.09	2,896.17	56.37
2,186 32	45.68	2,919.22	56.36
2,215 39	46.25	2,950.13	56.33
2,213 56	46.52	2,969.93	56.31
2,206 99	46.52	2,980.61	56.31
2,191 59	46.49	2,985.94	56.31
2,172 92	46.34	3,052.46	56.31
2,139 24	46.04	3,089.47	56.31
2,150 48	46.13	3,155.90	56.30
2,181 69	46.55	3,170.27	56.30

CARGA (kg)	DEF. (mm)
3.243 37	56 30
3.299 35	56 30
3.304 04	56 30
3.320 21	56 30
3.355 39	56 30
3.373 97	56 30
3.410 95	56 30
3.424 43	56 30
3.429 48	56 30

)

DATOS ENSAYE 6. LOSA 1 DE 2 L = 6.0 m)

CARGA (kg) DEF. (mm)

35.82	0.02
32.83	0.02
42.70	0.02
72.38	0.35
114.91	0.84
160.07	1.39
207.18	2.08
250.42	2.75
298.27	3.55
343.21	4.34
389.74	5.29
440.42	6.18
488.55	7.14
538.87	8.10
588.05	9.05
637.01	9.98
685.14	11.00
737.66	12.03
786.67	13.03
838.74	14.06
890.89	15.12
943.13	16.24
991.09	17.27
1,044.44	18.36
1,095.12	19.44
1,154.01	20.69
1,201.50	21.71
1,251.47	22.79
1,302.29	23.91
1,354.47	25.10
1,404.93	26.21
1,447.37	27.23
1,439.43	27.37
1,434.91	27.37
1,431.14	27.37
1,430.64	27.37
1,429.37	27.37
1,425.54	27.37
1,407.87	27.31
1,379.04	27.00
1,355.60	26.70
1,261.62	25.47
1,251.41	25.31
1,226.39	25.00
1,149.71	23.95
1,055.15	22.56
951.84	21.05
844.26	19.42
754.72	17.97
653.16	16.36

CARGA (kg)

DEF. (mm)

554.07	14.70
454.09	12.99
351.98	11.18
243.24	9.18
148.81	7.31
165.81	7.37
257.80	8.69
359.28	10.27
449.24	11.78
554.65	13.47
646.86	15.00
753.11	16.74
849.23	18.36
954.34	20.05
1,050.26	21.63
1,154.85	23.28
1,261.34	24.97
1,360.98	26.62
1,458.19	28.37
1,507.48	29.29
1,559.36	30.32
1,609.54	31.38
1,663.63	32.45
1,713.46	33.59
1,763.08	34.71
1,810.80	35.84
1,864.20	37.18
1,906.28	38.36
1,637.53	35.22
1,622.94	35.00
1,553.39	34.00
1,549.81	33.96
1,514.00	33.47
1,464.82	32.71
1,399.88	31.76
1,264.89	29.67
1,213.18	28.86
1,147.94	27.82
1,070.18	26.58
1,040.11	26.05
945.65	24.49
836.22	22.65
613.10	18.75
575.49	18.10
545.36	17.49
317.75	13.31
292.28	12.81
252.56	11.99
221.18	11.35
147.98	9.85

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
113.91	9.12	2,030.67	41.32
89.42	8.55	2,042.29	41.59
60.54	7.91	2,074.36	42.24
28.94	7.11	2,092.25	42.63
28.97	7.00	2,122.60	43.29
7.22	6.11	2,078.13	43.29
38.79	6.50	2,097.80	43.64
91.05	7.31	2,112.64	43.91
146.06	8.24	2,108.26	44.13
198.80	9.12	2,048.45	43.41
249.15	9.97	2,006.03	42.86
282.93	10.56	1,953.38	42.15
345.05	11.67	1,819.51	40.31
374.56	12.24	1,733.15	39.00
454.68	13.66	1,671.96	38.09
487.80	14.29	1,614.98	37.22
530.99	15.05	1,553.92	36.27
555.40	15.50	1,511.45	35.62
597.73	16.27	1,365.53	33.35
649.00	17.16	1,189.58	30.50
689.69	17.91	1,132.96	29.51
752.50	18.99	1,068.71	28.48
804.48	19.91	1,026.88	27.76
852.97	20.76	975.56	26.87
903.38	21.63	906.62	25.67
953.92	22.53	855.08	24.77
993.73	23.21	811.14	23.96
1,047.88	24.14	776.88	23.36
1,103.39	25.09	739.79	22.66
1,153.82	25.93	705.89	22.03
1,203.03	26.79	668.00	21.33
1,253.35	27.65	625.03	20.59
1,292.27	28.27	577.51	19.66
1,345.76	29.23	539.37	18.92
1,445.45	30.87	467.27	17.61
1,496.08	31.74	361.05	15.55
1,570.54	33.05	302.60	14.34
1,590.87	33.37	174.08	11.64
1,641.19	34.27	140.71	10.89
1,672.51	34.79	98.16	9.97
1,692.32	35.13	73.66	9.42
1,737.48	35.90	60.76	9.04
1,793.18	36.82	49.53	8.80
1,819.81	37.32	33.38	8.39
1,842.14	37.73	19.57	8.05
1,891.66	38.60	6.33	7.49
1,919.79	39.12	18.48	7.49
1,937.99	39.43	35.10	7.71
1,970.64	40.06	46.28	7.87
1,991.03	40.50	84.90	8.50

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
144.81	9.54	2,265.80	48.05
249.01	11.40	2,277.31	48.29
265.26	11.72	2,291.54	48.59
295.47	12.31	2,301.53	48.73
352.62	13.34	2,309.15	48.92
385.46	13.98	2,325.33	49.21
440.56	14.99	2,333.93	49.42
476.81	15.65	2,356.37	49.85
544.50	16.90	2,379.86	50.30
597.29	17.91	2,406.41	50.84
650.69	18.84	2,426.00	51.24
753.22	20.72	2,450.71	51.72
816.63	21.82	2,477.23	52.26
855.53	22.56	2,498.84	52.70
885.32	23.09	2,504.48	53.01
915.14	23.63	2,508.25	53.08
946.88	24.18	2,511.85	53.42
972.17	24.63	2,505.95	53.66
1,012.23	25.31	2,551.77	54.16
1,055.67	26.11	2,587.86	54.54
1,103.36	26.93	2,601.40	54.70
1,156.95	27.87	2,612.80	54.81
1,204.39	28.71	2,628.34	54.97
1,249.08	29.44	2,656.58	55.25
1,288.30	30.17	2,698.27	55.59
1,333.38	30.91	2,703.24	55.63
1,376.58	31.65	2,720.85	55.74
1,435.30	32.66	2,734.97	55.83
1,474.19	33.29	2,748.67	55.91
1,502.77	33.80	2,770.26	56.30
1,578.05	35.09	2,790.65	56.43
1,736.31	37.70	2,799.44	56.73
1,828.38	39.30		
2,009.03	42.39		
2,050.50	43.13		
2,102.74	44.07		
2,156.78	45.09		
2,186.32	45.68		
2,215.39	46.25		
2,213.56	46.52		
2,206.99	46.52		
2,191.59	46.49		
2,172.92	46.34		
2,139.24	46.04		
2,150.48	46.13		
2,181.69	46.55		
2,196.17	46.82		
2,216.42	47.18		
2,228.01	47.37		
2,253.40	47.83		

DATOS ENSAYE 6. LOSA 2 DE 2 L = 6.0 m)

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
37 07	0 03	993 23	19 96
90 15	0 12	1.019 06	20.54
123 83	0 28	1.035 09	20 93
141 06	0 38	1.073 27	21.75
149 33	0 48	1.102 79	22.42
164 28	0 56	1.121 57	23 14
165 33	0 67	1.178 53	24.44
169 63	0 75	1.198 17	25 03
180 98	0 82	1.221 89	25 56
193 66	0 90	1.246 05	26 25
200 93	1 10	1.283 43	27 21
206 81	1 18	1.304 79	27 76
210.42	1 30	1.329 65	28 24
225 07	1 43	1.347 15	28.73
236 83	1 56	1.378 31	29 58
256 14	1 89	1.403 47	30 09
261 10	2.15	1.425 47	30 61
268.57	2 31	1.436 35	30 99
316.76	3 37	1.458 13	31 43
339 78	3 74	1.473 22	31.83
350 19	3 92	1.485 51	32 26
363 39	4 31	1.505 62	32 68
389.89	5 01	1.529 07	33.28
402 18	5 26	1.547 93	33 64
421.63	5 85	1.528 32	33.74
432.95	6 09	1.520 02	33.75
455 14	6 62	1.507 04	33.62
489.57	7.57	1.461 34	33.15
500.50	7 88	1.449 39	32.98
547 20	8 69	1.425 44	32.77
577 60	9 74	1.393 21	32.22
602 93	10 27	1.332 00	31.33
633 37	11 09	1.325 21	31.29
648 96	11 24	1.267 56	30.43
682.83	12.08	1.221 70	29 71
697 18	12 66	1.183 22	29 09
737.32	13 37	1.159 80	28.70
733 35	13 54	1.142 79	28.38
764 21	14 29	1.109 53	27.76
783 02	14 77	1.071 74	27.17
807 79	15 17	1.026 88	26.50
822 55	15 58	947 06	25 12
831 48	15 99	880 87	23 87
846 24	16 27	819 19	22 73
877 84	16 97	767 70	21 73
899 21	17 60	725 56	21.08
937 27	18 52	682 00	20.15
971 20	19 21	590 61	18.43
982 24	19 61	588 81	17.87
		521 67	17 00

CARGA (kg)	DEF. (mm)	CARGA (kg)	DEF. (mm)
525 11	17.00	2,129 10	48 51
522 12	17.00	2,148 08	49 12
573 25	17.66	2,178.85	49 83
593 64	17.90	2,200 29	50 78
615 56	18.24	2,230 89	51 64
628 84	18 52	2,249 40	52 11
639 78	18.73	2,275 34	52 58
673 10	19.32	2,292 60	53 32
704 92	19 75	2,333 05	54 23
748 84	20 47	2,371 00	55 01
813 62	21 51	2,387 92	55 53
857 23	22 29	2,412 56	56 20
909 55	23 31	2,444 13	56 63
922 34	23.51	2,465 19	57 10
947 87	23.93	2,492 54	57 42
971 67	24.36	2,527 17	57 74
1 000 61	24.84	2,545 64	57 91
1,044 86	25.61	2,569 70	57 94
1 072 49	26 16	2,767 70	57 99
1,102 40	26 66	2,793 42	58 11
1,138 58	27 39	2,769 09	58 06
1,169 18	27 89	2,819 67	58 37
1 243 78	29.10	2,849 52	58 61
1,271 83	29 68	2,883 23	58 92
1,309 09	30.20	2,928 76	59 50
1 350 73	31.02	3,006 55	60 83
1,379 94	31 48	3,040 81	61 45
1,400 72	31.90	3,091 50	62.52
1,442 98	32.56	3,117 77	63 21
1,471 67	33.11	3,147 62	63 74
1,508 26	33.92	3,156 22	64 31
1,554 90	34 71	3,173 23	64 89
1 611 91	36 00	3,179 83	65 33
1,666 67	36 98	3,184 61	65 60
1,672 47	37.32	3,210 99	66 15
1,710 81	38.01	3,215 18	66 56
1 738 34	38.76	3,223 36	66 84
1,772 38	39.53	3,228 08	67 01
1 792 08	40 10	3,239 65	67 31
1 824 09	40 74	3,268 75	67 96
1 833 52	41 16	3,272 19	68 14
1 860 35	41 66	3,279 16	68 50
1 901 33	42 60	3,281 38	68 82
1 927 08	43 25	3,294 75	69 08
1 949 44	43 80	3,295 39	69 41
1,991 66	45 06	3,309 45	69 67
2 024 76	45 74	3,311 06	70 24
2 045 54	46 35	3,320 74	70 64
2 066 04	47 17	3,338 94	71 17
2,105 85	48 04	3,343 66	71 80

CARGA (kg)	DEF. (mm)
3.352 82	72.17
3.359 58	72.79
3.357 50	73.14
3.365 22	73.39
3.357 31	73.63
3.369 96	74.01
3.362 44	74.24
3.375 18	74.52
3.371 46	74.89
3.385 50	75.53
3.388 99	76.04
3.426 50	76.46
3.396 71	76.82
3.412 82	77.71
3.422 90	78.18
3.426 75	78.79
3.436 21	79.30
3.442 48	79.77
3.438 82	80.00
3.433 24	80.33
3.441 07	80.56
3.453 66	80.79
3.451 03	81.16
3.460 54	81.44
3.466 84	81.95
3.471 17	82.27
3.463 62	82.74
3.467 23	82.98
3.478 74	83.50
3.478 63	84.59

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **González Cuevas O. y Robles O .**
ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO,
México, 3/a Edición,
Editorial Noriega Limusa,
1995
- [2] **Park R y W L. Gamble.**
LOSAS DE CONCRETO REFORZADO,
México,
Editorial Limusa,
1987,
979 pp
- [3] **Loera Santiago y Mendoza Carlos Javier,**
COMENTARIOS, AYUDAS DE DISEÑO Y EJEMPLOS DE LAS NORMAS
TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO,
Serie del Instituto de Ingeniería No. ES-2,
Noviembre 1991.
341 pp
- [4] **Nawy Edward G .**
CONCRETO REFORZADO UN ENFOQUE BÁSICO,
México,
Editorial Prentice hall,
1988,
743 pp
- [5] **Arnal Simón, L y M. Betancourt.**
NUEVO REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES,
México,
2ª. Edición,
Editorial Trillas,
1994
- [6] **S Timoshenko,**
ELEMENTOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
2ª. Edición. México,
Editorial Limusa,
1996,
404 pp