

CAPITULO 1

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MODELOS DE LOSAS DE VIGUETA Y BOVEDILLA

1.1 Introducción

Debido a que se considera que un sistema de piso tiene una alta rigidez para aceptarse que permanece indeformable (diafragma rígido), se pretende conocer mediante ensayos experimentales el comportamiento de cuatro especímenes parcialmente prefabricados (sistemas de piso de vigueta y bovedilla) como diafragma rígido ante la incidencia de sismo, mediante la aplicación de cargas laterales cíclicas reversibles en las dos direcciones (positivo y negativo), y algunos semiciclos de carga vertical al centro del claro de la losa.

Se ensayaron cuatro especímenes (losas de vigueta y bovedilla) en el laboratorio de estructuras grandes del CENAPRED, construidos con elementos prefabricados (vigueta, bovedilla de poliestireno y bloque de poliestireno), la nominación asignada a los modelos fue la siguiente: modelo losa 03, modelo losa 04, modelo losa 05, modelo losa 06.

Previamente al ensaye de los cuatro especímenes de vigueta y bovedilla, se había realizado una prueba en el laboratorio, a un modelo de losa maciza el cual se usó como modelo de comparación.

A continuación, se detallan las características de cada uno de los especímenes, así como el arreglo de la instrumentación y dispositivo de carga, el marco de carga y la historia de carga aplicada a los modelos durante los ensayos.

1.2 Descripción de los especímenes

El diseño de los cuatro especímenes parcialmente prefabricados ensayados, fue hecho que de tal manera permitiera realizar los ensayos con el equipo disponible y el arreglo geométrico al que está sujeto el laboratorio de estructuras grandes del CENAPRED.

Los cuatro modelos tenían características de diseño distintas, como la presencia o ausencia de viguetas y el tipo de material utilizado como refuerzo en la capa de concreto a compresión (malla electro soldada o fibra) cuyo espesor era de 5 cm para los cuatro modelos, las dimensiones de los modelos fueron de 210 cm en dirección "X" y 250 cm en dirección "Y", (ver figuras 1.1 - 1.4).

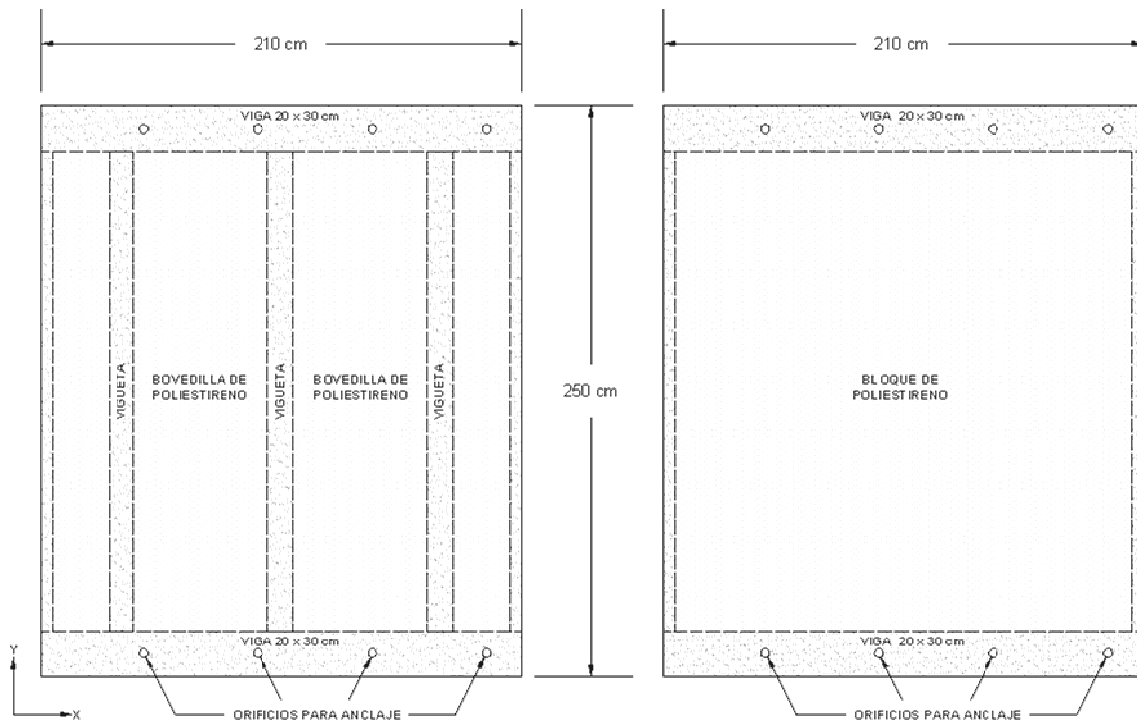


Figura 1.1

Vista en planta de los modelos con diferentes alternativas de diseño y diferente material de refuerzo en capa de concreto a compresión. A la derecha modelo diseñado sin viguetas y con bloque de poliestireno, a la izquierda modelo diseñado con viguetas y bovedilla de poliestireno.



Figura 1.2

Vista general de un modelo diseñado con vigueta, bovedilla de poliestireno y fibra como refuerzo en capa de concreto a compresión.



Figura 1.3

Vista inferior de un modelo diseñado con vigueta, bovedilla de poliestireno y malla electro soldada como refuerzo en concreto a compresión



Figura 1.4

Vista inferior de un modelo diseñado sin viguetas, con bloque de poliestireno y malla electro soldada como refuerzo en concreto a compresión

Las características generales del modelo se muestran en la tabla 1

Tabla 1 Descripción de los especímenes						
CARACTERÍSTICAS		MODELO LOSA 3	MODELO LOSA 4	MODELO LOSA 5	MODELO LOSA 6	MODELO LOSA MACIZA
Longitud dirección "x" (cm)		210	210	210	210	210
Longitud dirección "y" (cm)		250*	250*	250*	250*	250*
Espesor concreto a compresión "t _{cc} " (cm)		5	5	5	5	12
Orientación vigueta		Dirección "Y"	Dirección "Y"	Dirección "Y"	---	---
Bovedilla (material)		poliestireno	Poliestireno	Poliestireno	Bloque de Poliestireno	---
Refuerzo usado en la capa de concreto a compresión		Malla de acero y varilla de acero de #3 colocada sobre cada vigueta	Fibra y varilla de acero de #3 colocada sobre cada vigueta	Fibra y varilla de acero de #3 colocada sobre cada vigueta	Malla electro soldada	Varilla de acero #3
Resistencia nominal de los materiales	Concreto (kg/cm ²)	250	250	250	250	250
	Varilla de acero (kg/cm ²)	4200	4200	4200	---	4200
	Malla electro soldada (kg/cm ²)	6000	---	---	6000	---
	Vigueta (kg/cm ²)	420	420	420	---	---

* La dimensión de los modelos en dirección "Y" es de 250 cm, pero la longitud libre de prueba es de 230 cm.

1.3 Instrumentación y dispositivo de carga

Para tener el registro de datos durante el ensaye de los modelos, se utilizaron instrumentos y dispositivos de carga de tipo externo. La instrumentación y dispositivo de carga estuvo compuesta por tres gatos hidráulicos de cincuenta toneladas de capacidad; dos celdas de carga de cincuenta toneladas; una celda de carga de cinco toneladas; veintiocho transductores de desplazamiento, de los cuales veintitrés fueron de veinticinco milímetros, tres de cincuenta milímetros y dos de cien milímetros; una caja de switches; un adquiredor de información y una PC. El procedimiento de instrumentación de los modelos se describe a continuación.

Antes de colocar la instrumentación se trazó una cuadrícula sobre cada modelo de losa, partiendo del centro en dirección "X" y "Y" a cada veinticinco centímetros, esto con la finalidad de utilizarla como referencia, para ubicar el lugar donde se anclaron los espárragos que fueron utilizados como puntos de referencia y de soporte de la instrumentación, además la cuadrícula se utilizó para ubicar las zonas donde aparecieron grietas durante el ensaye de los modelos.

Después de haber dibujado la cuadrícula, el espécimen a ensayar se colocó debajo del marco de carga y se fijó a la losa de reacción del laboratorio de estructuras grandes del CENAPRED de uno de sus extremos, colocándose una junta de mortero de 1.5 a 2 cm de espesor aproximadamente entre ambas losas en el extremo que iba a quedar fija y en el extremo libre se colocaron dos placas de teflón para permitir el libre desplazamiento de la losa. Posteriormente al fraguado del mortero, se colocaron en el extremo fijo de la losa cuatro barras de anclaje entre la losa de ensaye y la losa de reacción del laboratorio de estructuras grandes del CENAPRED las cuales fueron postensadas a 35 toneladas cada una. Ver figura 1.5

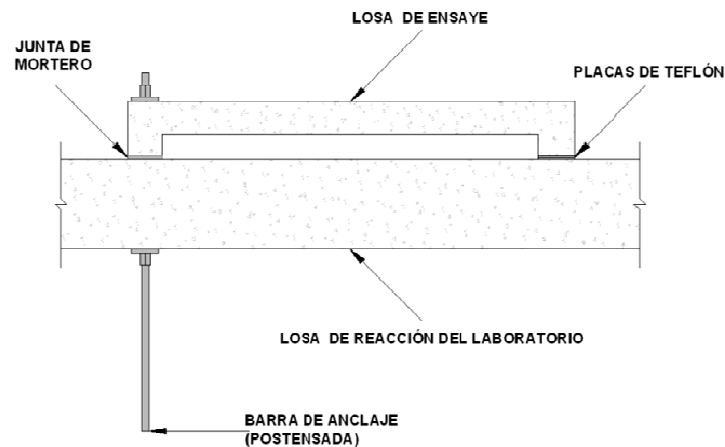


Figura 1.5

Fijación de la losa de ensaye a la losa de reacción del laboratorio del CENAPRED

Tomando como referencia la cuadrícula que se dibujó sobre la losa de ensaye se hicieron dieciséis barrenos de aproximadamente 3 cm de profundidad usando una broca de concreto de $\frac{1}{4}$ " de diámetro en los lugares que se indican en la figura 1.6, posteriormente se efectuó la limpieza de los barrenos para la colocación de espárragos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro que se utilizaron como puntos de referencia y soporte de la instrumentación, estos espárragos se anclaron a la losa de ensaye mediante la aplicación de resina epóxica en las perforaciones así como alrededor de los espárragos dejándola endurecer aproximadamente 24 horas.

Para el diseño de la instrumentación de la losa a ensayar, se consideraron las deformaciones que ocurrirían en el plano y fuera del plano en el sistema de piso, ocasionadas por la aplicación de las cargas laterales cíclicas reversibles en extremo libre de la losa y los semiciclos de carga puntual en el centro del claro de la losa.

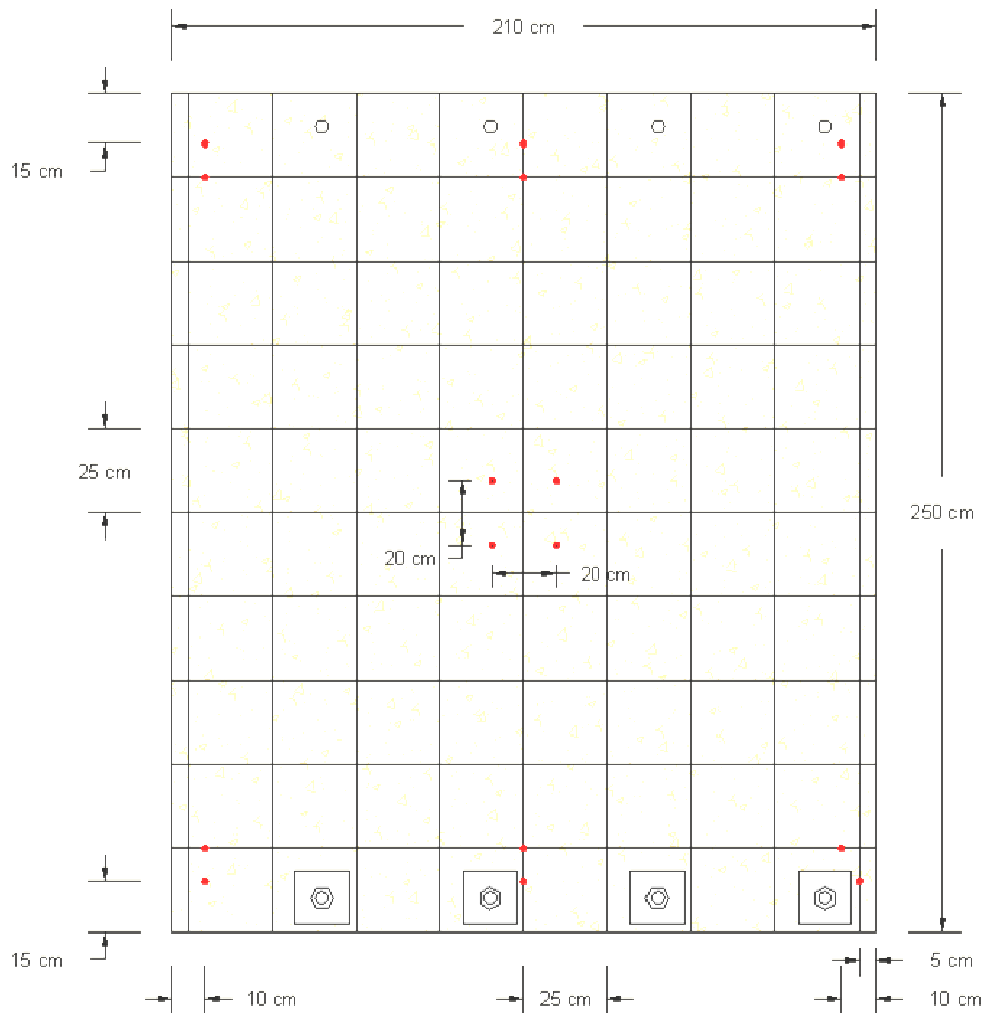


Figura 1.6

Vista en planta del modelo donde se indica la ubicación de los espárragos para la colocación de la instrumentación

La instrumentación de los modelos consta de varios arreglos, el primero se fijó de la siguiente manera, sobre un tubo expandible compuesto de dos tubos, uno de $\frac{3}{4}$ " de diámetro que se introducía por uno de sus extremos en un tubo 1" de diámetro permitiendo el alargamiento o acortamiento del mismo, estos se fijaron en sus extremos a los espárragos con tuercas en la parte inferior y superior del mismo, los transductores de 25 mm se colocaron en el tubo de 1" y se colocó una placa de aluminio en el tubo de $\frac{3}{4}$ " que comprimía el vástago del transductor para poder medir de esta manera el desplazamiento relativo entre los dos puntos de referencia del modelo representados por los espárragos extremos al aplicar las cargas sobre la losa. Ver figura 1.7

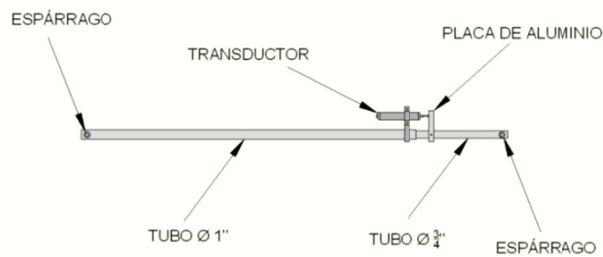


Figura 1.7
Arreglo de la instrumentación colocada en tubo expandible

Se fijaron cuatro tubos expandibles en el perímetro de los modelos a ensayar y cuatro en diagonal, partiendo de las cuatro esquinas hacia el centro de la losa como se ve en la figura 1.8, esto con la finalidad de registrar el desplazamiento máximo ocurrido en el plano del sistema de piso debido a la aplicación de cargas laterales.



Figura 1.8
Fijación de transductores de 25 mm en tubos expandibles en el perímetro y diagonales del modelo de ensaye

En el segundo arreglo se colocaron transductores de 25 mm sobre ángulos de aluminio en forma de "L" y estos fueron fijados a los espárragos mediante tuercas en la parte inferior y superior del ángulo. Otro ángulo de aluminio en forma de "L" de menor tamaño fue colocado de la misma forma que el anterior y su función es comprimir el vástago del transductor para poder medir los desplazamientos relativos entre los dos espárragos de referencia. Ver figura 1.9

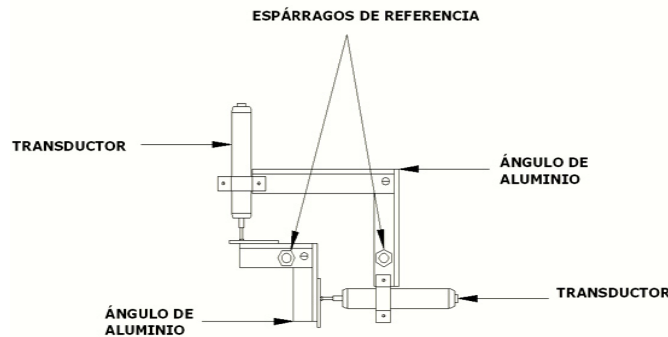


Figura 1.9

Arreglo de la instrumentación fijada sobre ángulos de aluminio

El tercer arreglo estuvo conformado por tres transductores de 50 mm colocados en soportes con imanes sobre un perfil que cruzaba el centro del claro de la losa, esta instrumentación se usó para medir los desplazamientos verticales ocasionados por la carga puntual aplicada al centro de la losa, además de tener el propósito de revisar los desplazamientos fuera del plano del sistema de piso cuando está sujeto a cargas laterales en el plano. Ver figuras 1.10, 1.11



Figura 1.10

Lado oeste del modelo donde se muestra la fijación de transductores de 50 mm en soportes con imanes sobre perfil que cruza el centro del claro de la losa

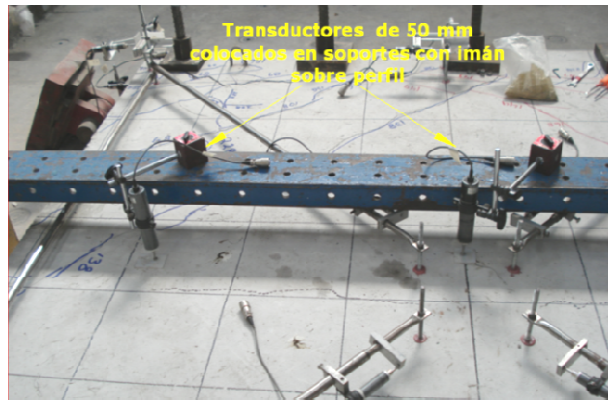


Figura 1.11

Lado este del modelo donde se muestra la fijación de transductores de 50 mm en soportes con imanes sobre perfil que cruza el centro del claro de la losa

El último arreglo estuvo constituido por dos transductores de 100 mm, los cuales fueron fijados en soportes con imanes al lado de cada celda de carga de 50 toneladas, estos dispositivos se emplearon para medir los desplazamientos globales del modelo ocasionados por los ciclos de cargas laterales aplicados en el extremo libre de la losa. Los desplazamientos medidos con estos dispositivos fueron empleados como parámetro junto con la carga de control de la prueba. Ver figuras 1.12, 1.13

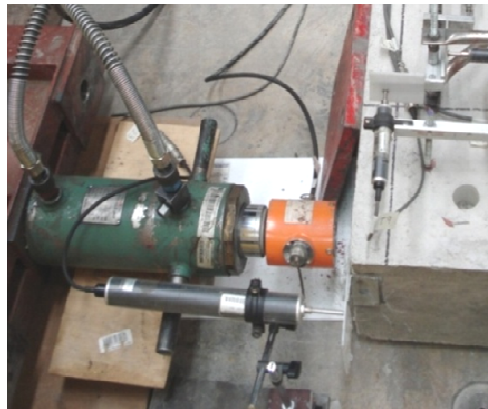


Figura 1.12

Transductor de 100 mm fijado junto a dispositivo de carga para registrar los desplazamientos ocasionados por las cargas laterales cíclicas positivas

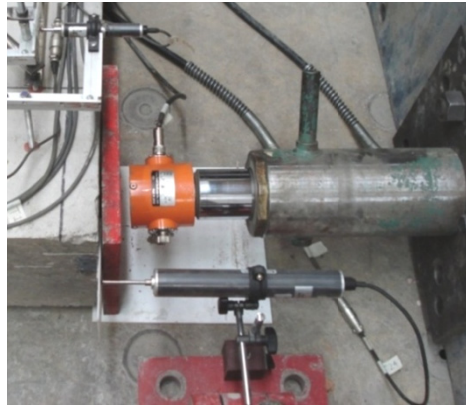


Figura 1.13

Transductor de 100 mm fijado junto a dispositivo de carga para registrar los desplazamientos ocasionados por las cargas laterales cíclicas negativas

Una vista general de la instrumentación de las losas de ensaye es como se muestra en la figura 1.14

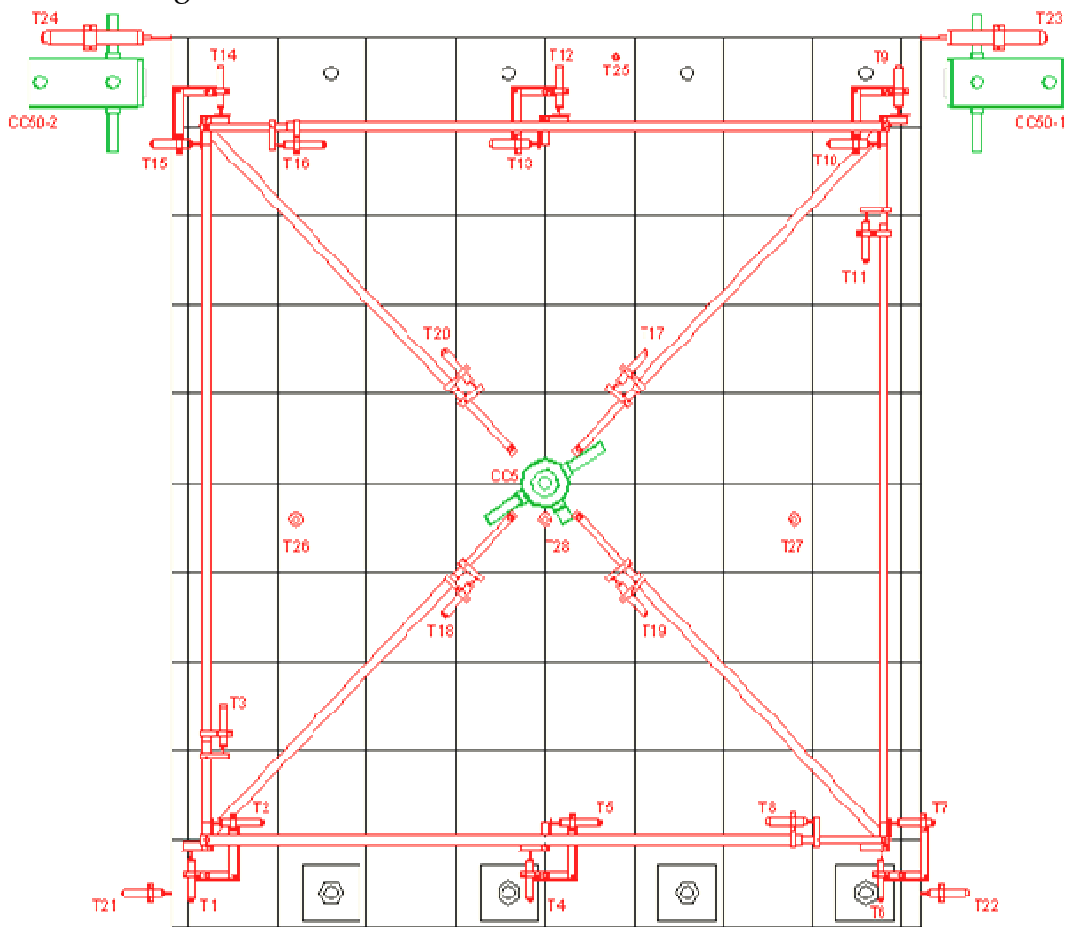


Figura 1.14.

Vista general de la instrumentación en el modelo a ensayar

A cada instrumento utilizado en los ensayos se le asignó un nombre y un canal para conexión, los instrumentos fueron conectados a una caja de switches con el número de canal asignado, este a su vez se conectó a un adquisidor de información que estaba conectado a una computadora para tener el monitoreo durante la prueba y almacenar la información obtenida. La nominación fue como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Asignación de instrumentos

CANAL	NOMBRE	APARATO	UNIDAD
000	T01	CDP25	mm
001	T02	CDP25	mm
002	T03	CDP25	mm
003	T04	CDP25	mm
004	T05	CDP25	mm
005	T06	CDP25	mm
006	T07	CDP25	mm
007	T08	CDP25	mm
008	T09	CDP25	mm
009	T10	CDP25	mm
010	T11	CDP25	mm
011	T12	CDP25	mm
012	T13	CDP25	mm
013	T14	CDP25	mm
014	T15	CDP25	mm
015	T16	CDP25	mm
016	T17	CDP25	mm
017	T18	CDP25	mm
018	T19	CDP25	mm
019	T20	CDP25	mm
020	T21	CDP25	mm
021	T22	CDP25	mm
022	T26	CDP50	mm
023	T27	CDP50	mm
024	T25	CDP25	mm
025	T23	CDP100	mm
026	T24	CDP100	mm
027	T28	CDP50	mm
028	CC5	CC5	Ton
029	CC50-1	CC50	Ton
030	CC50-2	CC50	Ton

1.4 Marco de carga

El marco de carga que se utilizó en los ensayos de los modelos, tuvo la finalidad de soporte para los dispositivos de aplicación de carga. El marco de carga fue hecho a base de vigas de acero de sección armada con placas de una pulgada de espesor con dimensiones de 40 cm de peralte por 40 cm de base que se ajustan a la geometría del laboratorio.

Los dispositivos de apoyo para los gatos hidráulicos que aplicaron las cargas laterales fueron hechos con tres vigas de acero de secciones antes mencionadas, los cuales se colocaron en la losa de reacción del laboratorio en cada lado del modelo a ensayar, se fijaron mediante barras que fueron postensadas para impedir mediante fricción, que se presentaran desplazamientos durante la aplicación de cargas en los ensayos. Ver figura 1.15



Figura 1.15

Dispositivo de apoyo para gato hidráulico que aplica carga lateral del lado este del modelo de ensaye

El gato hidráulico que aplicó la carga vertical durante el ensaye, se fijó a una viga de acero de sección antes mencionada y de seis metros de longitud, está viga se fijó por sus extremos con tornillos a los dispositivos de apoyo como el mostrado en la figura 15, para impedir que se presentaran desplazamientos durante la aplicación de cargas verticales en el ensaye. La configuración final del marco de carga y la colocación de instrumentos, se observa en las figuras 1.16, 1.17.

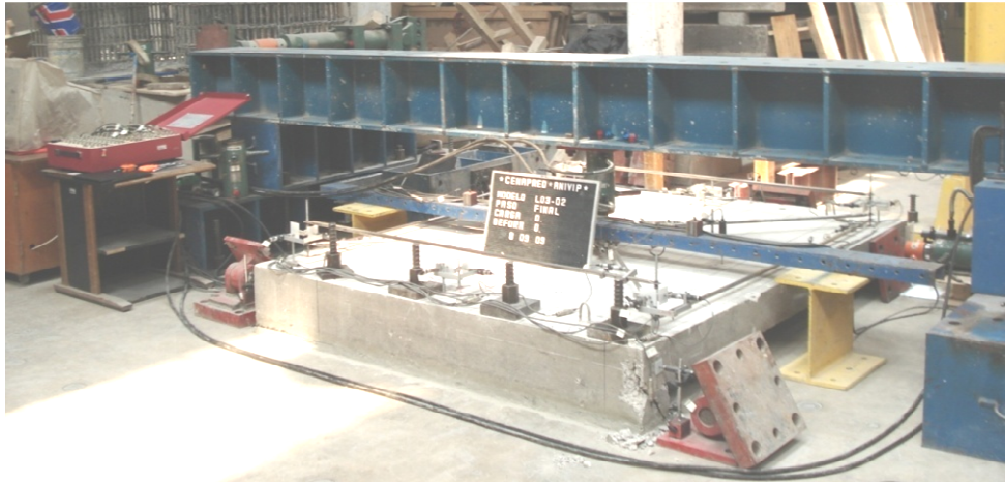


Figura 1.16
Vista general del marco de carga con un modelo instrumentado



Figura 1.17
Vista posterior de un modelo, donde se observa la fijación del dispositivo de carga vertical a la viga de acero

1.5 Historia de carga aplicada en los ensayos

La historia de carga propuesta para aplicar a los modelos durante los ensayos, fue considerando cargas laterales cíclicas reversibles en las dos direcciones (positivo y negativo), y algunos semiciclos de carga vertical al centro del claro de la losa. Debido a que es de interés conocer el comportamiento como diafragma rígido de los modelos, ante la incidencia de sismo.

Los instrumentos de control durante el ensaye fueron las celdas de carga CC50-1, CC50-2, CC5 y los transductores T23, T24 y T28, ver figura 1.18.



Figura 1.18
Instrumentos de control empleados durante los ensayos de los modelos

La celda de carga CC5 junto con el transductor T28 registraban los semiciclos de carga vertical y el desplazamiento ocasionado respectivamente, mientras que la celda de carga CC50-1 junto con el transductor T23 registraban la carga lateral cíclica reversible positiva y el desplazamiento respectivamente, la celda de carga CC50-2 junto con el transductor T24 registraban la carga lateral cíclica reversible negativa y su desplazamiento respectivamente.

La manera en que se llevó a cabo la prueba se describe a continuación:

- Se inició la prueba aplicando una carga vertical al centro de la losa con incrementos de 0.5 Ton hasta llegar a las 2 Ton y se fue retirando la carga de la misma manera.
- En seguida se inició la aplicación de una carga lateral con incrementos de 0.5 Ton hasta llegar a 2 Ton en sentido positivo (+) y se retiró la carga de la misma manera; después se continuó con el mismo procedimiento aplicando carga lateral pero en el sentido negativo (-). Este procedimiento se repitió dos veces para cada dirección.
- Posteriormente se aplicaron dos ciclos de carga lateral en las dos direcciones con incrementos de 1 Ton hasta alcanzar 4 Ton y se fue retirando la carga de la misma manera.
- Después del paso anterior se volvió aplicar un ciclo de carga vertical con incrementos de 0.5 Ton hasta alcanzar las 2 Ton y se retiró la carga de igual forma.
- Se aplicaron dos ciclos de carga lateral en las dos direcciones con incrementos de 2 Ton hasta alcanzar las 8 Ton y se retiró la carga de la misma manera.
- Posteriormente se volvió aplicar un ciclo de carga vertical con incrementos de 0.5 Ton hasta alcanzar las 2 Ton y se retiró la carga de la misma manera.
- Después se aplicó un ciclo de carga lateral para las dos direcciones iniciando con una carga de 4 Ton y se fue incrementando con dos toneladas hasta alcanzar las 12 Ton, la carga se retiró de la misma manera.
- A partir de este ciclo la prueba ya no se controló por carga si no por desplazamiento; se comenzaron a medir los desplazamientos laterales con incrementos de 2 mm, 4 mm y 5 mm y se regresaba al nivel de desplazamiento remanente correspondiente al estado de carga cero, se aplicaron dos repeticiones para cada una de las direcciones.
- Se aplicó otro ciclo de carga vertical con incrementos de 0.5 Ton hasta alcanzar las 2 Ton y se retiró la carga de la misma manera.
- Se aplicaron dos ciclos de carga lateral en cada sentido, controlados por desplazamiento con incrementos de 2 mm hasta alcanzar los 10mm y se regresaba al nivel de desplazamiento remanente correspondiente al estado de carga cero.

- Posteriormente se aplicó una carga vertical con incrementos de 0.5 Ton hasta alcanzar las 2 Ton y se retiró la carga de la misma manera.
- Se aplicaron dos ciclos de carga lateral en cada sentido, controlados por desplazamiento con incrementos de 5 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 15 mm y se regresaba al nivel de desplazamiento remanente correspondiente al estado de carga cero.
- Se aplicaron dos ciclos de carga lateral en cada sentido, controlados por desplazamiento con incrementos de 5 mm, 10 mm, 15 mm, 17 mm, 19 mm, 20 mm y se regresaba al nivel de desplazamiento remanente correspondiente al estado de carga cero.
- Finalmente se aplicó una carga vertical con incrementos de 0.5 Ton hasta alcanzar las 2 Ton y se retiró la carga de la misma manera.
- A partir de este paso la aplicación de otro ciclo de carga lateral era opcional si es que la losa se encontraba en estado de soportar más carga.

La representación gráfica de las historias de carga y desplazamiento aplicadas a los modelos durante los ensayos se muestra en las figuras 1.19, 1.20.

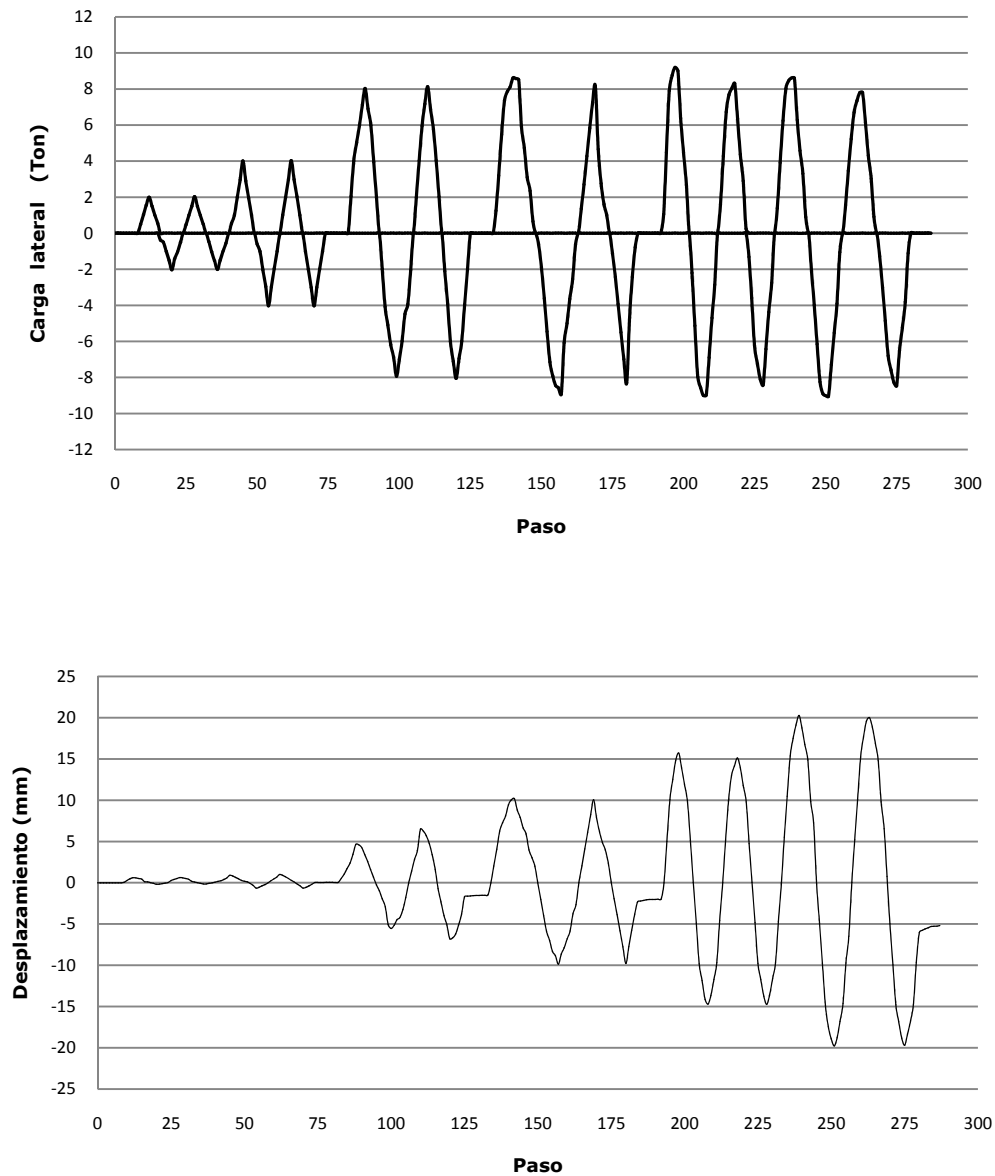


Figura 1.19
Historias de carga y desplazamiento para los ciclos de carga lateral

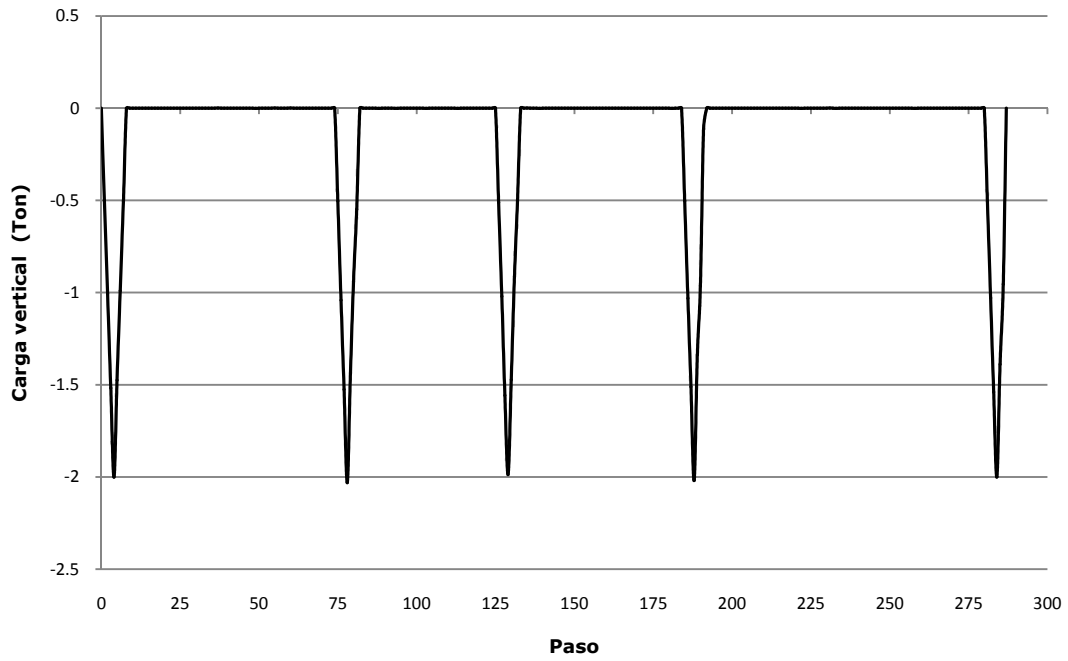


Figura 1.20
Historia de carga para los semiciclos de carga vertical