

**SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**

**INFORME DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CONEXIONES MURO-LOSA  
DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO**

María Isabel Díaz Solís  
Felipe Bennetts Toledo  
Oscar López Bátiz

Instituto de Ingeniería de la UNAM  
Investigador Titular  
Becarios

Dirección de Investigación  
Subdirección de Riesgos Estructurales

Febrero de 2020

## CONTENIDO

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                       | 3  |
| OBJETIVO .....                                           | 3  |
| DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS .....                         | 4  |
| Prototipo de prueba .....                                | 4  |
| Especímenes .....                                        | 6  |
| Instrumentación .....                                    | 9  |
| Protocolo de carga .....                                 | 11 |
| Arreglo experimental .....                               | 11 |
| Especímenes ensayados .....                              | 16 |
| Resultados y comportamiento general de los modelos ..... | 17 |
| Curvas cortante-distorsión de entrepiso .....            | 17 |
| Evolución del daño .....                                 | 19 |
| CONCLUSIONES .....                                       | 21 |
| REFERENCIAS .....                                        | 21 |

## INTRODUCCIÓN

Por la ubicación geográfica de la República Mexicana, existen condiciones climatológicas y geológicas que propician la ocurrencia de fenómenos naturales de grandes magnitudes frecuentemente, en particular huracanes y sismos. Algunos de estos fenómenos, por la magnitud y alcance de la región, han provocado grandes pérdidas a la infraestructura del país así como los bienes de la ciudadanía. Para atender esta situación, se requiere de una respuesta por partes de las autoridades, en la cual se deben canalizar importantes recursos humanos y económicos, en un primer momento para atender la situación de emergencia y posteriormente, para resarcir los daños y restablecer las condiciones de normalidad social y económica de la región afectada.

El Centro Nacional de Protección de Desastre, como parte de sus atribuciones dentro del gobierno federal, tiene la encomienda de fomentar la cultura de la prevención de desastres, así como mitigar los riesgos de los bienes expuestos de la nación ante los efectos de fenómenos naturales perturbadores, por tal motivo, el CENAPRED dentro de sus líneas de acción prevé desarrollo de investigación en estructuras Sismo-Resistentes. Para cumplir con estos fines, el CENAPRED, por medio de la Dirección de Investigación y la Subdirección de Riesgos Estructurales, se encargan de realizar vínculos con diferentes instituciones y universidades para elaborar estudios experimentales sobre la materia. Como parte de esta acción, el CENAPRED, tiene un convenio de colaboración con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma México, el cual permite a ambas instancias en trabajar de manera conjunta en proyectos de investigación en temas a fines en materia de prevención y mitigación de desastres.

Para el plan anual de trabajo 2019, el CENAPRED y el IINGEN de la UNAM participaron de manera conjunta en la elaboración de una serie de ensayos en el Laboratorio de Grandes Estructuras (LEG) del CENAPRED, a elementos de concreto para ver su capacidad de respuesta ante un sismo.

## OBJETIVO

Con el propósito de estudiar el desempeño de diferentes uniones losa-muro de concreto reforzado con o sin fibra metálicas, se construyeron una serie de especímenes para probarse en el Laboratorio de Estructuras Grandes del CENAPRED. Los especímenes a probar se fabricaron de tal manera que se pudiera hacer un análisis comparativo directo de las variables involucradas. Las variables del estudio son: cuantía de acero refuerzo y fibras metálicas en la losa de concreto, para analizar el patrón de agrietamiento en la losa de concreto, rigidez y resistencia. Los objetivos específicos del estudio son:

- Comparar el comportamiento de la unión muro-losa, haciendo variar las cuantías del acero estructural y las fibras metálicas.
- Obtener curvas características de histéresis del comportamiento de las uniones muro-losa para diferentes cuantías de acero.

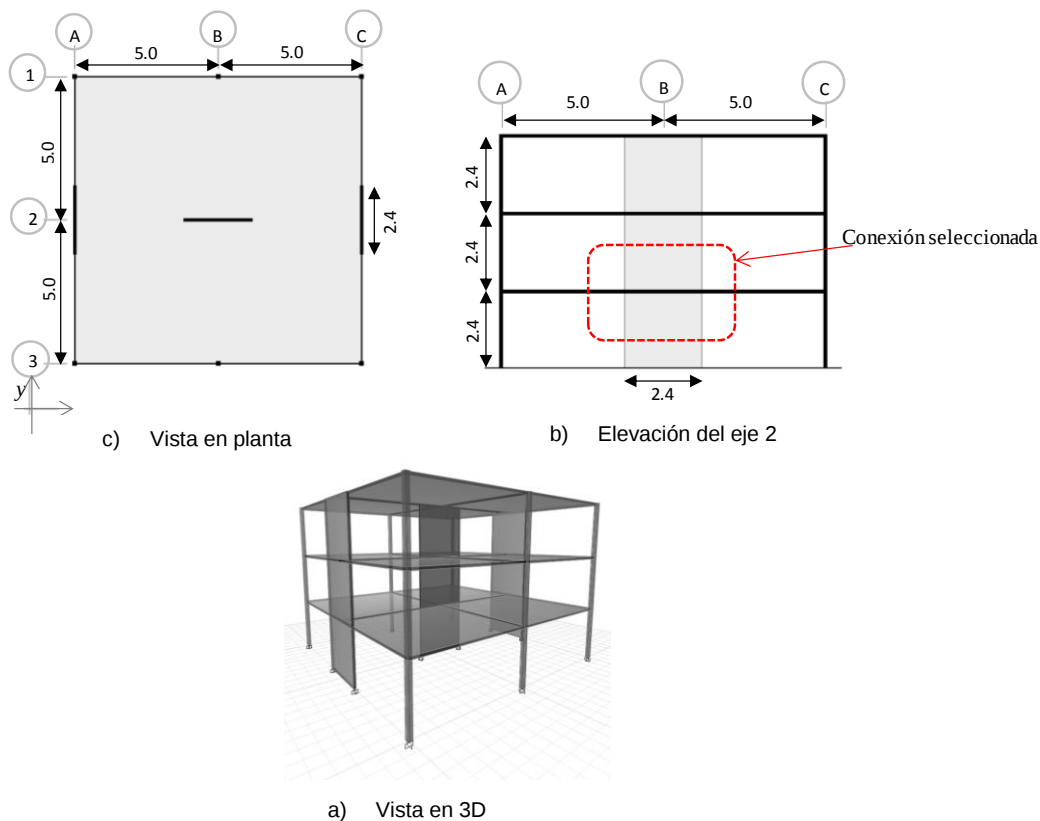


- Obtener recomendaciones sobre el uso de fibras metálicas en elementos de concreto estructural en zonas de mediana a alta sismicidad.

## DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

### Prototipo de prueba

A partir de una estructura prototipo (Figura 1), se seleccionó una conexión muro-losa para ser ensayada en el laboratorio de Grandes Estructuras del CENAPRED. Esta conexión consiste en tomar medio muro arriba y medio muro debajo de la losa del primer nivel. También se tomó un segmento de losa a cada lado del muro; tal y como se indica en la Figura 1b.



**Figura 1. Geometría de la estructura prototipo (cotas en m). IINGEN 2019**

Todos los muros tuvieron una longitud de 2.4 m, espesor fue de 10 cm y losa con espesor de 10 cm. Las propiedades de los materiales usados se indican en la Tabla 1. Las cargas de diseño consideradas sobre la estructura se indican en la Tabla 2. Las cargas se seleccionaron de las establecidas en las Normas Técnicas Complementarias sobre *Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC Criterios, 2017)* para un edificio destinado a uso habitacional.

**Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales**

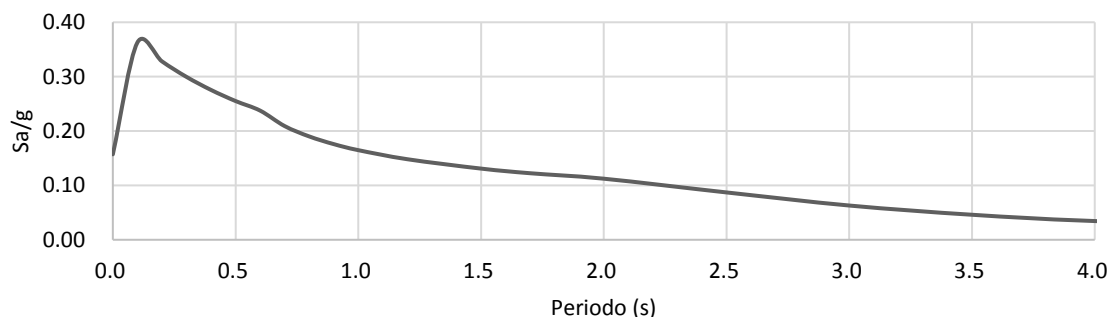
| <b>Material</b>   | <b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-------------------|----------------------------------------|
| Concreto          | f'c = 350                              |
| Acero de refuerzo | fy = 4,200                             |

**Tabla 2. Cargas vivas unitarias en kg/m<sup>2</sup>**

| <b>Uso</b>                         | <b>Media (W)</b> | <b>Instantánea (Wa)</b> | <b>Máxima (Wm)</b> |
|------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|
| Habitacional                       | 80               | 100                     | 190                |
| Azotea con pendiente no mayor a 5% | 15               | 70                      | 100                |

Además, se consideró una carga adicional reglamentaria de 40 kg/m<sup>2</sup> establecida en las NTC Criterios (2017) y una carga muerta de 260 kg/m<sup>2</sup> debida a instalaciones, acabados, cancelería, muros no estructurales, etc. El peso propio se calculó a partir de la geometría de los materiales y su peso volumétrico.

Para los efectos laterales debidos a sismo, se utilizó el espectro correspondiente de diseño de acuerdo en las recomendaciones del Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por sismo de la Comisión Federal de Electricidad 2008 (MOC CFE Sismo, 2015) considerando un factor de comportamiento sísmico de  $Q = 2$  y un factor de sobrerresistencia de  $R = 2.5$  para un terreno rocoso. Se consideró la aplicación del sismo ( $S_x$ ) y ( $S_y$ ) en las direcciones respectivas X y Y (de acuerdo en la figura 1a). El espectro de diseño utilizado se muestra en la Figura 2, el cual fue generado por el *Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS)*, programa propio del MOC CFE Sismo (2018).



**Figura 2. Espectro de diseño**

Las combinaciones de diseño usadas para el análisis son las correspondientes a las establecidas en las NTC Criterios (2017). Dichas combinaciones son las siguientes:

**Tabla 3. Combinaciones de diseño**

| <b>Combinación</b>                    | <b>Cargas involucradas</b>                           |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|
| CSG (Carga de Servicio Gravitacional) | $1.3 \times (PP + SCM) + 1.5 \times W_m$             |
| SXX (Sismo en dirección X)            | $1.1 \times (PP + SCM + W_a + S_x + 0.3 \times S_y)$ |
| SYX (Sismo en dirección Y)            | $1.1 \times (PP + SCM + W_a + S_y + 0.3 \times S_x)$ |

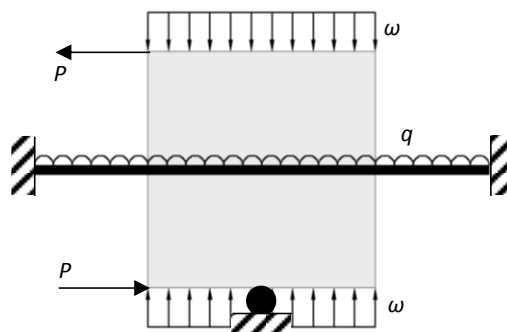
Para la obtención de los casos más desfavorables (especialmente de fuerzas actuantes), se consideró una combinación más, la cual es una envolvente de los resultados de las combinaciones mostradas en la Tabla 3. Del análisis realizado en un programa de cómputo para análisis y diseño estructural se obtuvieron las fuerzas actuantes de interés, correspondientes a la componentes  $S_{xx}$ , específicamente las que son aplicadas sobre el muro central. Los resultados del análisis realizado se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Resultados del análisis de la estructura prototipo**

| <b>Axial (t)</b> | <b>Cortante (t)</b> | <b>Momento (t-m)</b> | <b>Periodo fundamental (s)</b> |
|------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|
| 143.0            | 50.0                | 275.0                | 0.35                           |

## Especímenes

De la geometría de los especímenes ensayados surgió la conexión seleccionada de la estructura prototipo según la Figura 1b. Un modelo esquemático de la conexión se muestra en la Figura 3.



**Figura 3. Esquema de la conexión muro-losa, IINGEN 2019**

Para poder simular el modelo matemático de la conexión, se utilizó la geometría descrita en la Figura 4, para los especímenes a ensayar. Todos los especímenes fueron contruidos a escala 1:1 (escala natural). Cabe mencionar que estas medidas fueron dispuestas así principalmente por necesidades del modo de ensayo, por procedimiento constructivo y por capacidades del laboratorio.



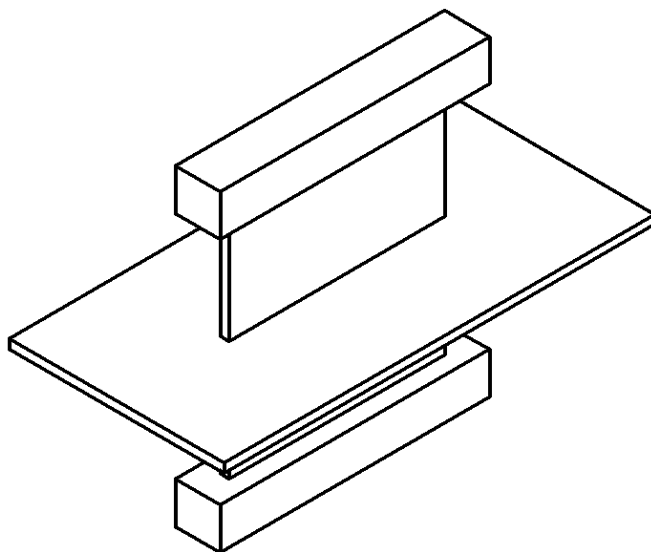
**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

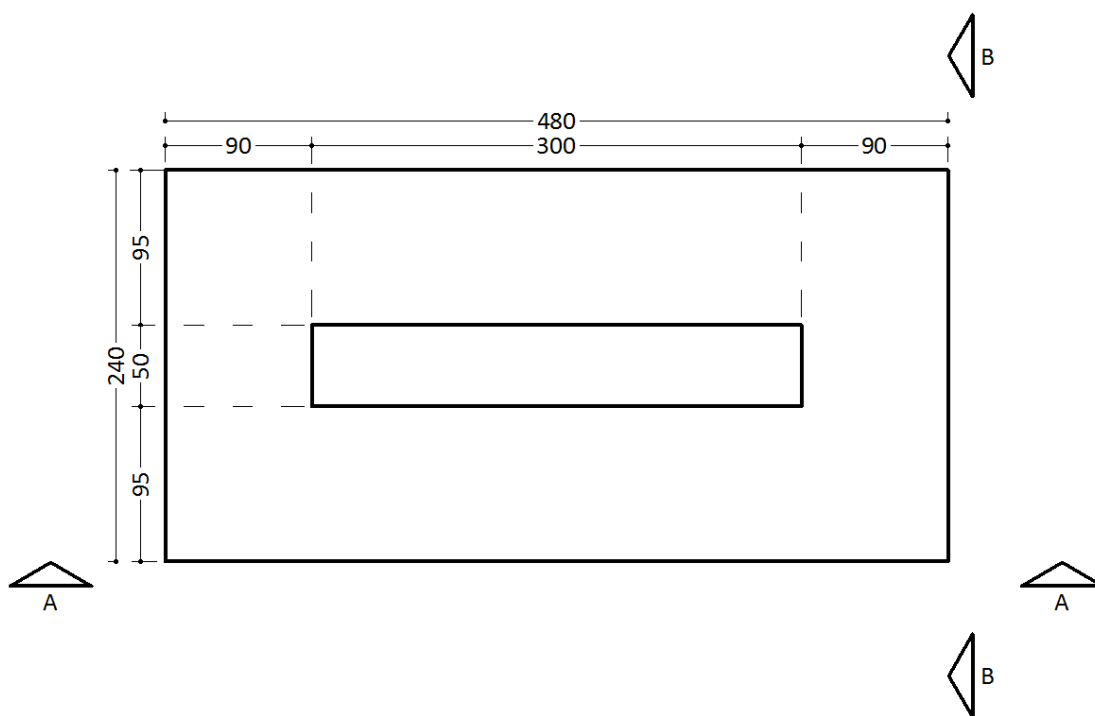


**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

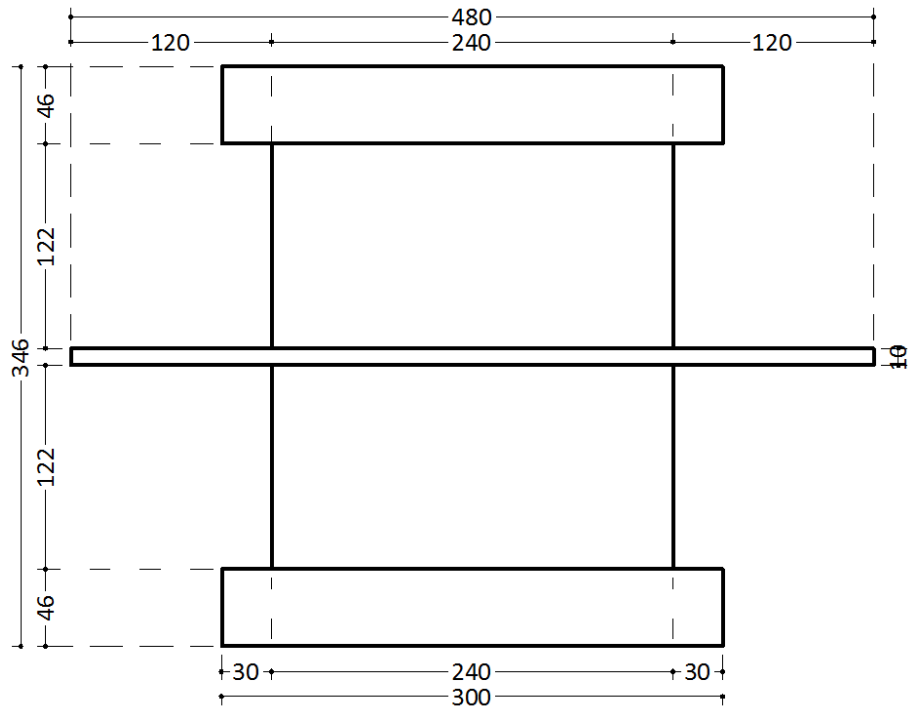


*a) Isométrico*

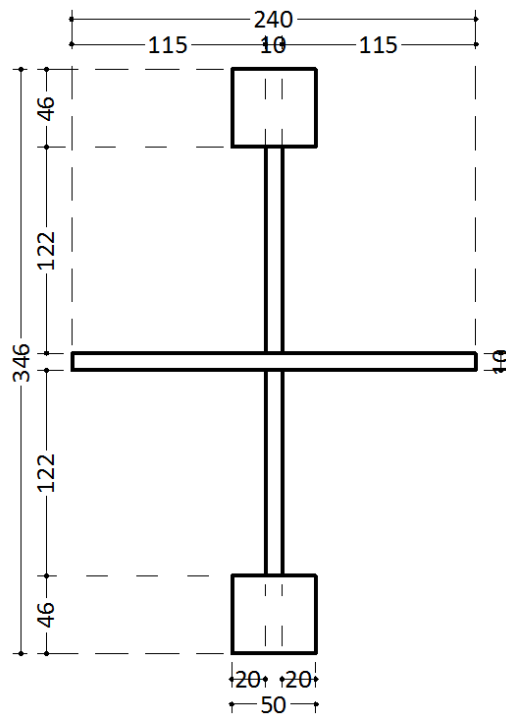


*b) Vista en planta*

**Figura 4. Geometría de los especímenes ensayados (cotas en cm), IINGEN 2019**



**c) Vista frontal A-A**



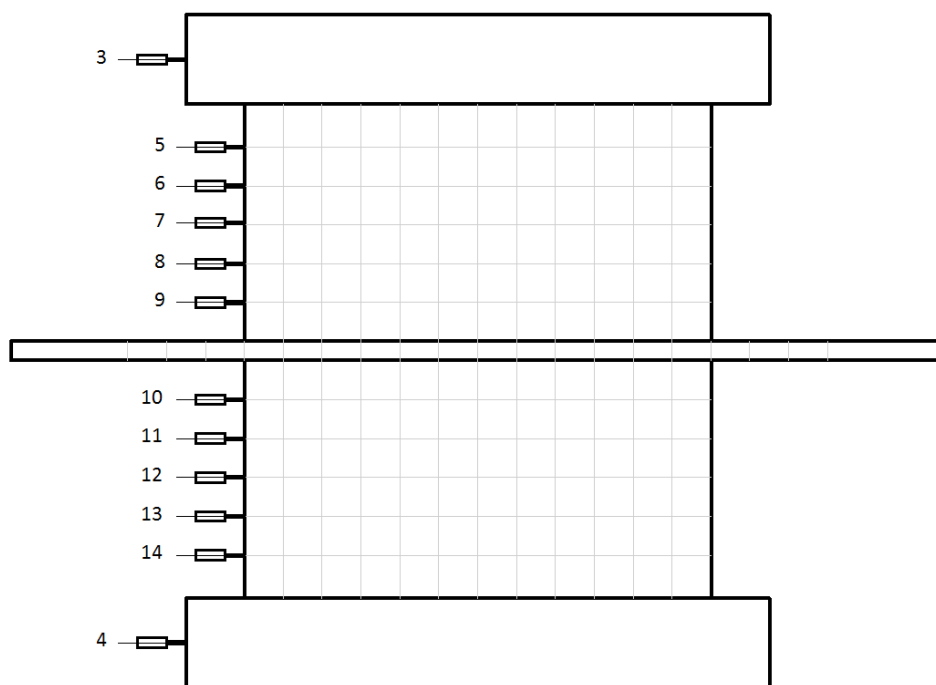
**d) Vista lateral B-B**

**Figura 4.continuación. Geometría de los especímenes ensayados (cotas en cm), IINGEN 2019**

Con la finalidad de contar con niveles de carga realista, se colocaron 60 lingotes de plomo distribuidos en toda la losa del espécimen. Cada lingote pesa aproximadamente 48 kg, es decir, se colocaron aproximadamente 2.9 t distribuida en toda la losa.

## Instrumentación

Se decidió hacer un arreglo de instrumentos tanto horizontal como vertical, para medir las deformaciones del muro y losa. En la parte lateral de los muros se colocaron un total de 12 transductores de desplazamiento variable lineal (LVDT, por sus siglas en inglés Variable Linear Displacement Transducer), 10 de ellos directamente sobre el canto de los muros (5 en el muro superior y 5 en el muro inferior) y 2 en los cabezales del espécimen (1 en el cabezal superior y 1 en el cabezal inferior), los cuales sirvieron para controlar la prueba. También se colocaron 19 LVDT's a lo largo de parte superior de la losa para determinar la configuración deformada de la losa durante los ensayos. Para medir las deformaciones por cortante del muro, se colocaron 8 micrómetros de caratula en diagonal, ubicados sobre la parte superior de la losa del espécimen y dispuestos en una sola cara. En la Figura 5 se muestra la posición de la instrumentación. La cuadrícula mostrada en los especímenes es de 20×20 centímetros partiendo desde la losa. Para esta investigación, no se utilizó instrumentación interna, es decir, no se instrumentó el acero de refuerzo.



*a) LVDT's horizontales (H) sobre el canto del muro*

**Figura 5. Instrumentación externa del espécimen vista sobre la cara posterior, IINGEN 2019**



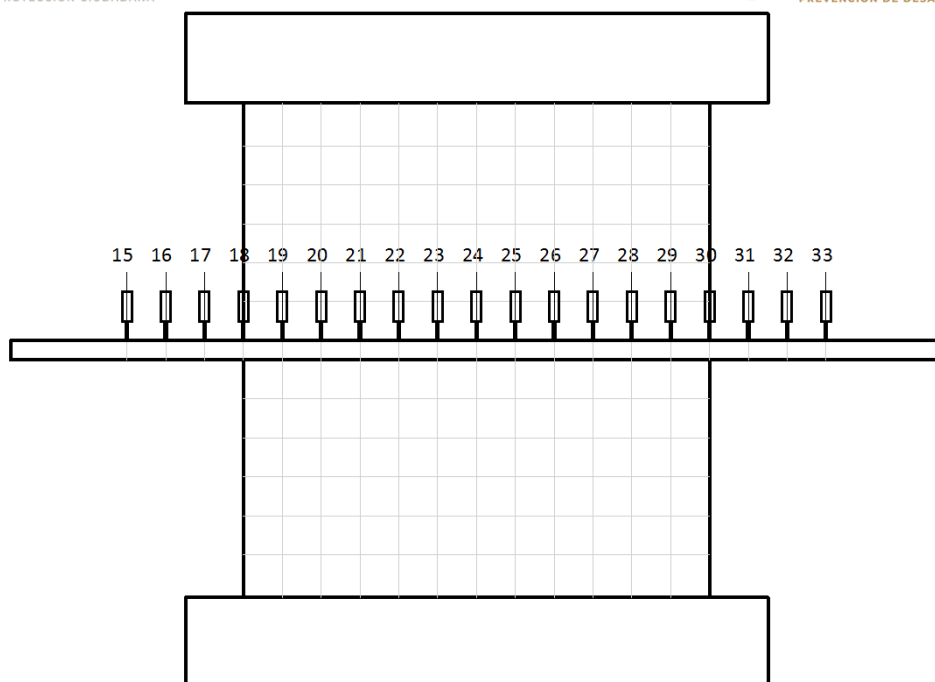
**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

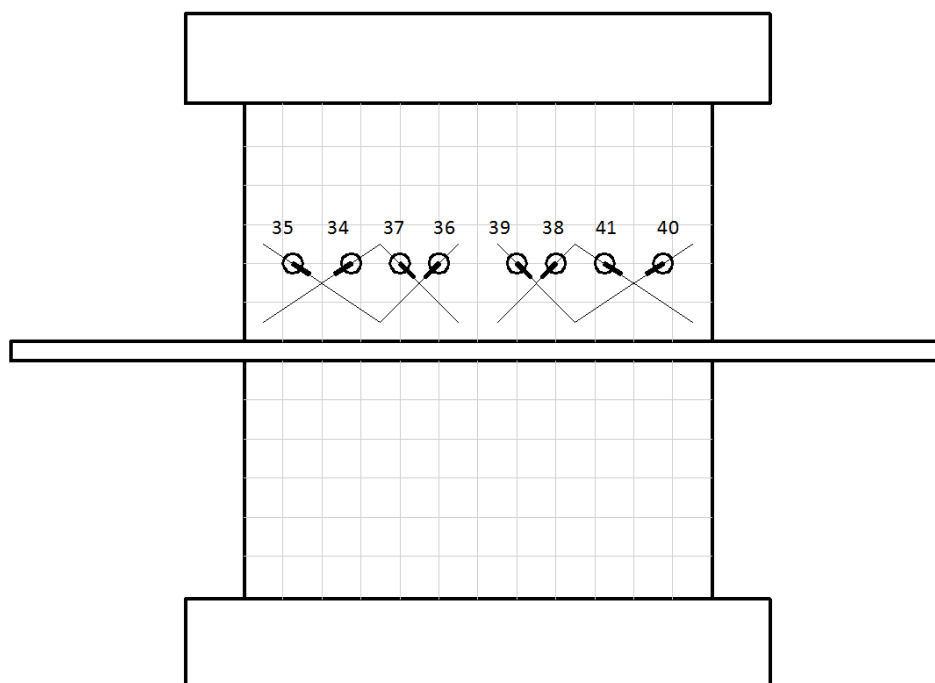


**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES



***b) LVDT's verticales (V) sobre la losa***



***c) Micrómetros diagonales (D) sobre el muro***

***Figura 5.cont. Instrumentación externa del espécimen vista sobre la cara posterior, IINGEN  
2019***

## Protocolo de carga

Para cada espécimen, se aplicó el mismo protocolo de carga controlado por desplazamientos. La historia de desplazamientos utilizada está basada en las recomendaciones del ACI 374 (2013). Estas recomendaciones están sustentadas en el desplazamiento de fluencia del espécimen a ensayar. Con base en algunos resultados de Carrillo et al. (2012-2), se estableció para muros con características similares a las de los especímenes aquí tratados, un desplazamiento de fluencia de 0.25 % de distorsión del muro. Así, el desplazamiento de fluencia considerado para la historia de desplazamientos fue:

$$\delta_y = 0.0025 H_m = 0.0025 \times 254 = 0.635 \text{ cm} = 6.35 \text{ mm}$$

Los desplazamientos se controlaron con el LVDT H4 (Figura 5a), el cual se ubica en la parte superior del espécimen.

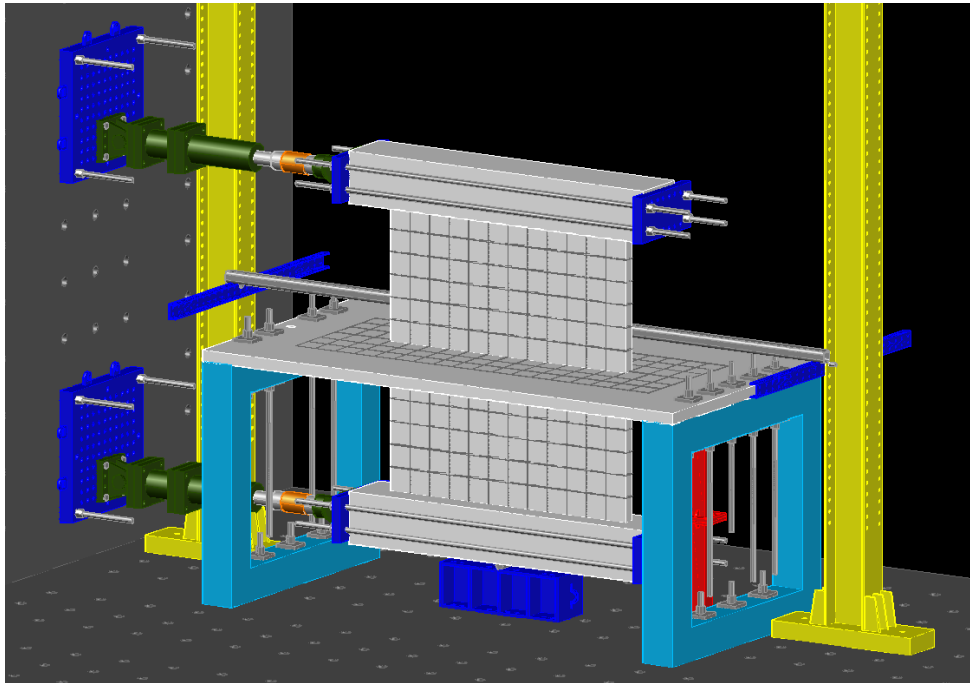
Con base en lo anterior, la historia de desplazamientos del transductor LVDT H4 se muestra en la Tabla 5. A partir del desplazamiento de fluencia, antes de cada incremento de desplazamiento indicado en la Tabla 5, se hizo un ciclo equivalente a la mitad del ciclo inmediato anterior, esto con el fin de recentrar el espécimen y de apreciar la degradación de rigidez en cada ciclo.

**Tabla 5. Historia de desplazamientos aplicados**

| <b>Distorsión equivalente</b> |                              | <b>Desplazamiento lateral (mm)</b> | <b>Número de ciclos</b> |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>%</b>                      | <b><math>\delta_y</math></b> |                                    |                         |
| 0.063                         | 0.25                         | 0.794                              | 2                       |
| 0.125                         | 0.50                         | 1.588                              | 2                       |
| 0.250                         | 1.00                         | 3.175                              | 2                       |
| 0.375                         | 1.50                         | 4.763                              | 2                       |
| 0.500                         | 2.00                         | 6.350                              | 2                       |
| 0.750                         | 3.00                         | 9.525                              | 2                       |
| 1.000                         | 4.00                         | 12.700                             | 2                       |
| 1.500                         | 6.00                         | 19.050                             | 2                       |
| 2.000                         | 8.00                         | 25.400                             | 2                       |
| 3.000                         | 12.00                        | 38.100                             | 2                       |
| 4.000                         | 16.00                        | 50.800                             | 2                       |
| 6.000                         | 24.00                        | 76.200                             | 2                       |
| 8.000                         | 32.00                        | 101.600                            | 2                       |

## Arreglo experimental

Las pruebas se realizaron en el laboratorio del CENAPRED. El arreglo general del experimento se muestra en la Figura 6. En la figura se puede observar que los extremos de la losa se apoyaron sobre dos marcos de concreto (azul) y se anclaron mediante barras postensadas, placas y tuercas de acero.



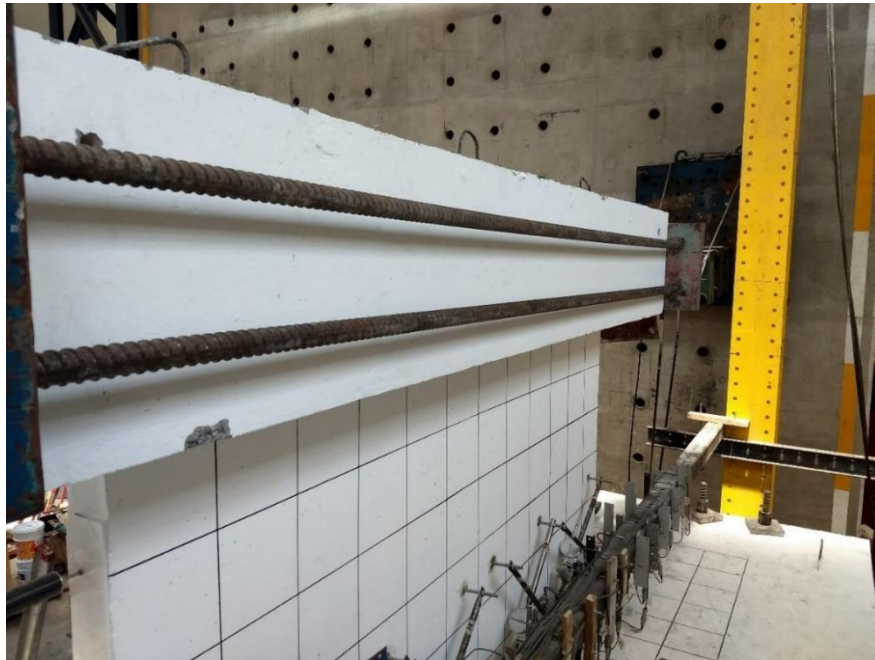
**Figura 6. Esquema general de prueba, IINGEN 2019**

Para simular el apoyo móvil inferior (Figura 3), se colocó una base metálica con un rodillo de acero en el centro del cabezal inferior (Figura 8).



**Figura 8. Rodillo de acero bajo el cabezal inferior**

Los gatos hidráulicos se fijaron al muro de reacción del laboratorio mediante placas de acero y aplicaron fuerza en el centro de los cabezales de los especímenes. Para lograr el efecto de la carga reversible, los cabezales se confinaron con barras y placas de acero, sobre una de las cuales se sujetaron los gatos hidráulicos (Figura 9).



**Figura 9. Al fondo se muestra un gato hidráulico superior con placas de confinamiento**

La Figura 10 muestra la instalación de LVDTs en la losa, en la vista posterior del modelo (ver Figura 5.c), la finalidad de estos dispositivos era tener la información que permitiera determinar la configuración deformada de la losa, específicamente en la vecindad de la conexión con el muro.



**Figura 10. Instalación de LVDTs a lo largo de la losa**

Las figuras 11 y 12 muestran LVDTs en el canto del muro superior e inferior, respectivamente. La finalidad de estos dispositivos era revisar la configuración deformada del muro, es decir, verificar gráficamente el mecanismo dominante del comportamiento en el muro.



**Figura 11. Instalación de LVDTs en el muro superior**



**Figura 12. Instalación de LVDTs en el muro inferior**



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

Con el propósito de lograr una simulación adecuada del sistema losa – muro, en la losa del modelo se colocaron lingotes de plomo, como se muestran en la Figura 13, mostrando el arreglo general del espécimen en la Figura 14. El peso de los lingotes representa la carga muerta y viva del sistema considerando el efecto de escala del modelo.



**Figura 13. Colocación de lingotes sobre la losa**



**Figura 14. Vista general del modelo de prueba**

## ESPECÍMENES ENSAYADOS

En total se ensayaron cinco especímenes. Las características de los especímenes se detallan en la Tabla 6 y fueron los siguientes:

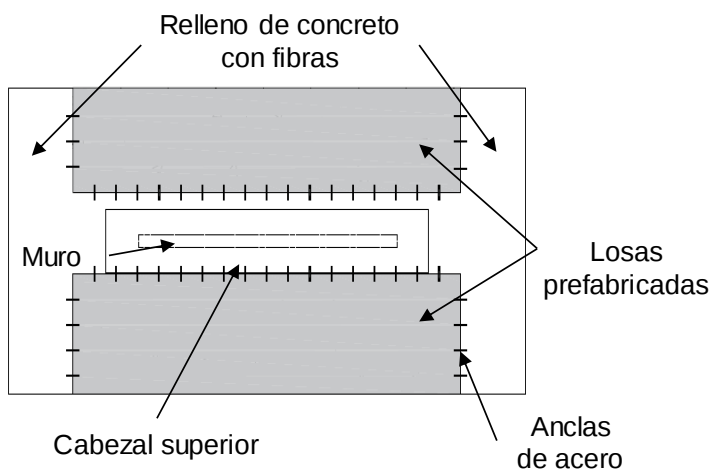
- El primer espécimen, denominado Control, consistió en una conexión convencional hecha a base de concreto reforzado con un lecho de varilla del no. 3 separadas a cada 20 cm. Ese armado se utilizó tanto en el muro como en la losa.
- El espécimen 2, llamado Híbrido, fue hecho a base de concreto reforzado con fibras y varillas. La dosificación de las fibras fue de 30 kg/m<sup>3</sup>. La separación de las varillas se incrementó a 40 cm tanto en el muro como en la losa.
- El espécimen 3, referido como Fibras 1, consistió de concreto reforzado únicamente con fibras con una dosificación de 30 kg/m<sup>3</sup>.
- Los especímenes 4 y 5, denominados Prefabricado 1 y Prefabricado 2, fueron hechos de elementos de concreto prefabricado. Éstos fueron el muro y segmentos de losa (ver Figura 14). La unión se realizó con concreto reforzado con fibras; con una dosificación de 60 kg/m<sup>3</sup>. Mientras que en el espécimen 4 los segmentos de losa fueron hechos a base de concreto reforzado con un lecho de varilla del no. 2 separadas a cada 20 cm; en el espécimen 5 los segmentos de losa fueron hechos a base de concreto reforzado únicamente con fibras con una dosificación de 30 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 6. Características de los especímenes ensayados**

| <i><b>Espécimen</b></i> | <i><b>Nombre</b></i> | <i><b>Tipo</b></i> |
|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 1                       | Control              | Monolítico         |
| 2                       | Híbrido              | Monolítico         |
| 3                       | Fibras 1             | Monolítico         |
| 4                       | Prefabricado 1       | Prefabricado       |
| 5                       | Prefabricado 2       | Prefabricado       |

En relación con los modelos prefabricados, el concepto radica en habilitar los segmentos prefabricados de las losas al muro continuo que conforma el núcleo del sistema. La conexión se logra por medio de barras de refuerzo que cruzan el muro, logrando “barbas” en ambas caras del muro, con las que se traslapan las “barbas” de los paneles prefabricados para las losas.

En la Figura 15 se muestra una vista general de la conexión para los modelos prefabricados.



a) Esquema de segmentos prefabricados      b) fotografía de elementos prefabricados

**Figura 15. Esquema de especímenes prefabricados, IINGEN 2019**

## RESULTADOS Y COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS MODELOS

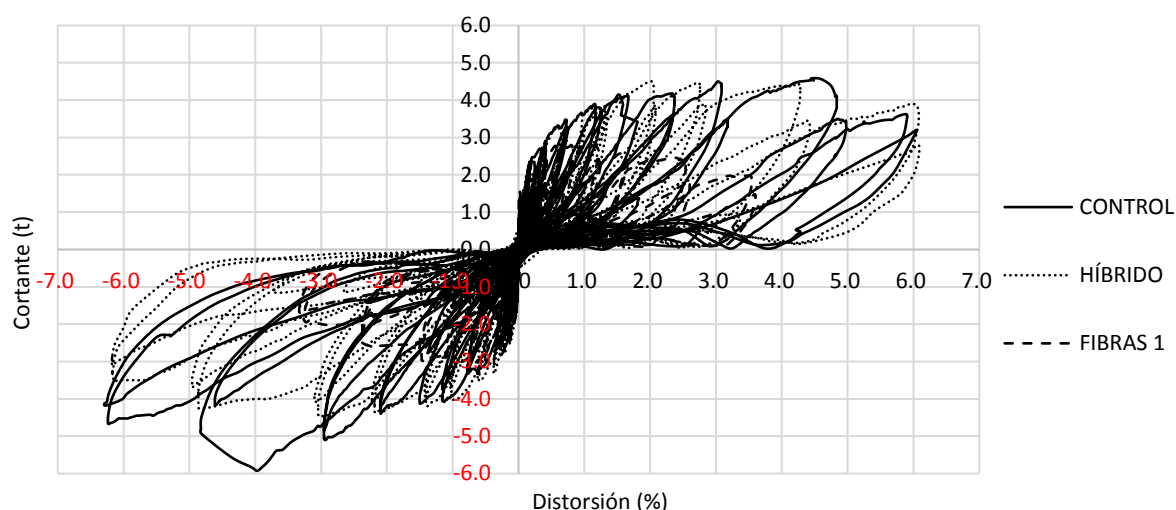
### Curvas cortante-distorsión de entrepiso

Las figuras 16 y 17 muestran la comparación del comportamiento de los modelos representado por las curvas fuerza lateral y desplazamiento lateral global del sistema; es decir, fuerza cortante de entrepiso y desplazamiento relativo. Se puede observar de las figuras que hay comportamiento inelástico no lineal desde los primeros ciclos de carga, generando comportamiento histerético en las curvas cortante–distorsión de entrepiso para todos los especímenes ensayados. Mientras la Figura 16 muestra las curvas correspondientes a los tres primeros especímenes (los que fueron colados monolíticamente), la Figura 17 muestra las curvas de los especímenes prefabricados. Las figuras 18 y 19 muestran las envolventes de las curvas de histéresis para los especímenes monolíticos y los prefabricados, respectivamente. Comparando las figuras 18 y 19 se puede observar que, independientemente de que los especímenes sean monolíticos o prefabricados, aquellos especímenes con refuerzo de varillas muestran un mejor comportamiento que los que sólo tuvieron fibras. Los especímenes con sólo fibras tuvieron una rigidez post-fluencia negativa, lo que podría generar comportamiento poco eficiente durante movimientos sísmicos severos.

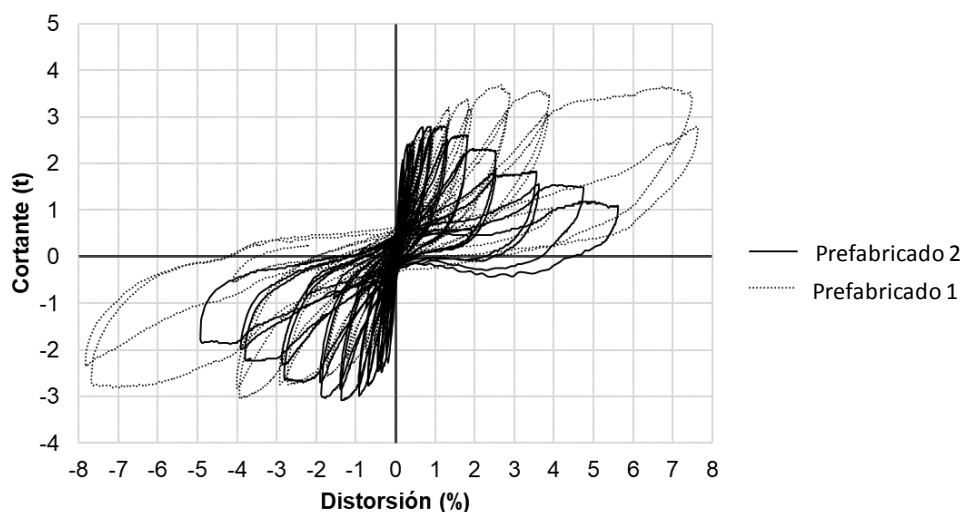
Una peculiaridad de todos los modelos es el severo adelgazamiento de las curvas en la vecindad del nivel de carga cero, generalmente llamado “pinching” o pellizcamiento; en este tipo de pruebas resulta difícil dilucidar si ese adelgazamiento se debe a un proceso de pérdida de adherencia (acero – concreto), o a un proceso de comportamiento anómalo por cortante. Cabe la mención que las propiedades geométricas de las curvas resultan

consistentes con la mayoría de los modelos y reglas de histéresis plateados para sistemas estructurales a base de muros de concreto, generalmente denominados modelos orientados al origen, algunos de los cuales se muestran y explican con claridad en Otani (1980).

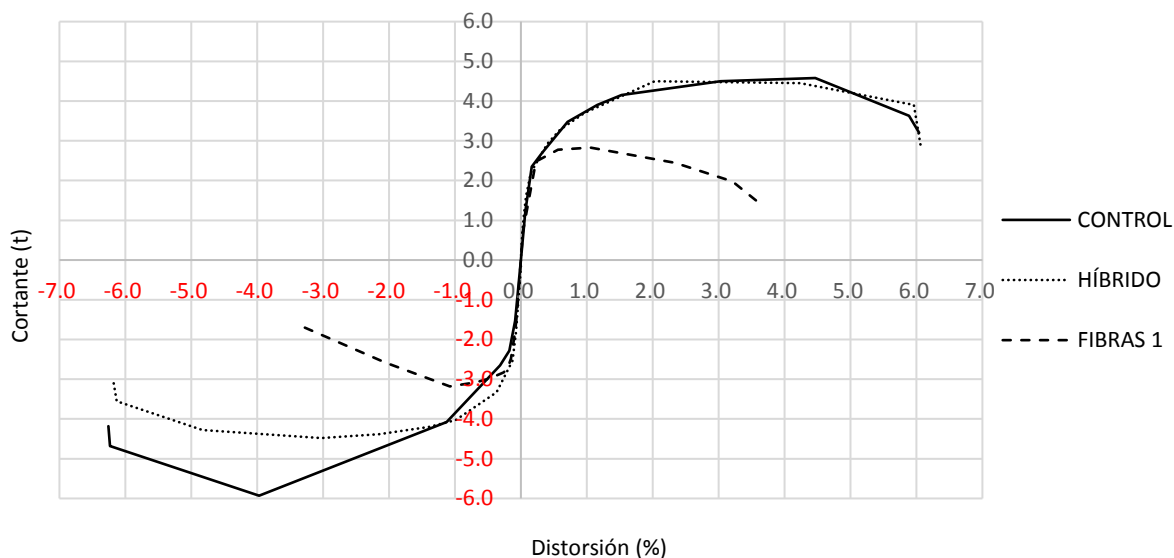
De la Figura 17 se puede identificar un comportamiento radicalmente diferente entre los dos modelos prefabricados. El modelo 1, que tiene barras de refuerzo y traslape en la zona de la conexión presenta menor degradación de resistencia y rigidez, por lo que la capacidad de disipar energía por deformación también resultará mayor. La ductilidad del modelo con refuerzo a base de solamente fibras en la conexión (modelo 2) resulta del orden de la unidad, mientras que el modelo que tiene traslape de refuerzo, aun con cuantías del orden de la mínima, presenta una capacidad de ductilidad de desplazamiento del orden de cuatro.



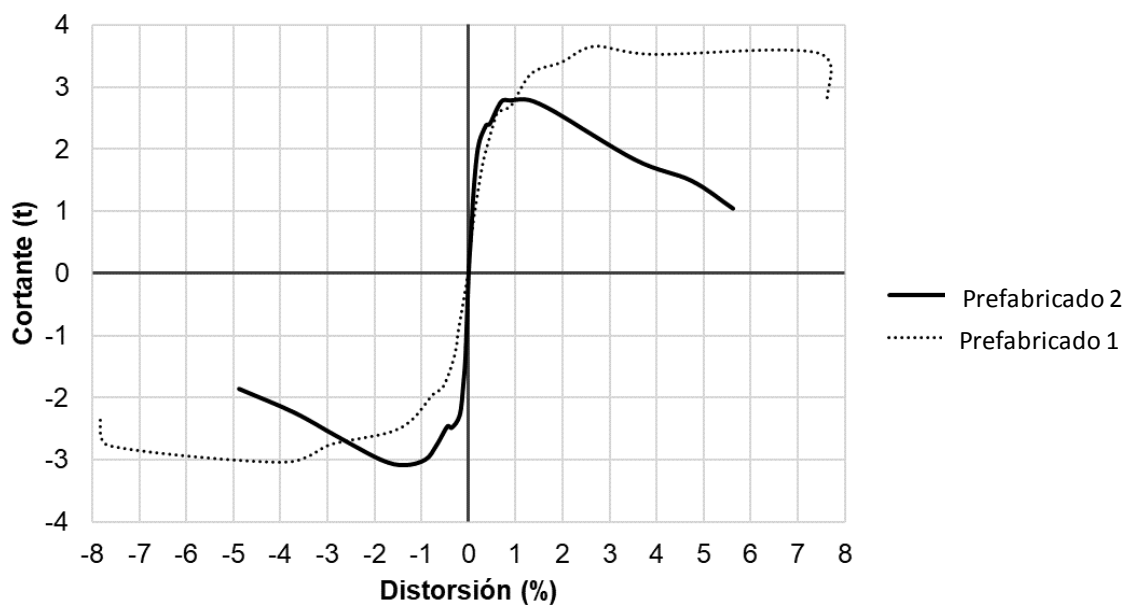
**Figura 16. Curvas histeréticas de los primeros tres especímenes (monolíticos), IINGEN 2019**



**Figura 17. Curvas histeréticas de los especímenes prefabricados, IINGEN 2019**



**Figura 18. Envolventes del comportamiento histerético de los primeros tres especímenes (monolíticos), IINGEN 2019**



**Figura 19. Envolventes del comportamiento histerético de los especímenes prefabricados, IINGEN 2019**

## Evolución del daño

La Figura 19 muestra el comportamiento típico de los especímenes ensayados (configuración deformada en comportamiento post-fluencia). Se puede apreciar que el daño



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

inició en la interfaz muro-losa y se propagó a los extremos. Una observación relevante es que los especímenes que sólo contaban con fibras como refuerzo concentraron el agrietamiento en una sola grieta dominante, mientras que los especímenes que tenían varilla distribuían las grietas en una región más amplia; como se puede apreciar en la Figura 20.



**Figura 19. Fotografía de uno de los especímenes durante las pruebas**



**a) Especimen con varilla**

**b) Especimen con sólo fibras**

**Figura 20. Propagación de grietas en los especímenes**

De las figuras 19 y 20 se puede identificar que el mecanismo de falla del sistema está dominado por la resistencia a flexión de la losa, el muro se comporta como cuerpo rígido y,

en los cinco modelos no presentó agrietamiento de adicional al que se observó en la frontera con la losa.

## CONCLUSIONES

Se realizaron pruebas experimentales de cinco especímenes en el laboratorio de estructuras grandes de CENAPRED. Los especímenes consistieron de conexiones muro-loso hechos de concreto reforzado únicamente con varillas, únicamente con fibras metálicas y un espécimen híbrido (es decir: con varillas y fibras). Mientras que tres especímenes fueron fabricados monolíticamente, dos fueron hechos a base de elementos prefabricados. Las conclusiones más relevantes obtenidas son:

- Se encontró que los especímenes que tenían sólo fibras como refuerzo, ya se monolíticos o prefabricados, presentaron rigidez post-fluencia negativa.
- Los especímenes reforzados con varillas (con o sin fibras) presentaron un comportamiento post-elástico de mejor desempeño.
- Otro aspecto relevante es que el agrietamiento. El agrietamiento se concentró en una grieta dominante en los especímenes reforzados únicamente con varillas.
- Mejor distribución de grietas en los especímenes que contenían varillas.

## REFERENCIAS

1. Otani, S., 1981, Hysteresis models of reinforced concrete for earthquake response analysis, Journal, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Vol. XXXVI, No.2.
2. ACI-374.2R-13. Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements Under Slowly Applied Simulated Seismic Loads. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2013.
3. Programa de cómputo OpenSees, Open System for Earthquake Engineering Simulation. Derechos de autor Universidad de California.
4. ACI-89-S35. Strength of Vertical Joints with Steel Fiber Reinforced Concrete in Large Panel Structure. Hashim M.S. Abdul-Wahab. ACI Structural Journal, V.89, No. 4, July-August 1992.
5. N. Ganesan, P.V. Indira and Ruby Abraham. Steel fibre reinforced high performance concrete beam-column joints subjected to cyclic loading. ISET Journal of Earthquake Technology. Sept. – Dec. 2007.
6. Dr. Kaiss Sarsam & Zaid Muhammad Kani Al-Azzawi. Shear Capacity of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beam-Column Joints. Eng. & Tech. Journal, Vol.28, No.6, 2010.
7. M. R. Ramey. Fiber Reinforced Concrete for Seismic Joints. University of California.
8. ACI-92-S52. ACI Structural Journal. Seismic Behavior of Steel-Fiber Reinforced Concrete



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

9. Interior Beam-Column Joints. André Filiatrault, Sylvain Pineau, and Jules Houde. ACI Structural Journal, V. 92, No. 5, September-October 1995.