



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

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

**ESTUDIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE CONEXIONES
INNOVADORAS TRABE-COLUMNA DE CONCRETO REFORZADO**

PROGRAMA ANUAL DE TRABAJO 2021

Dirección de Investigación
Subdirección de Riesgos Estructurales

Instituto de Ingeniería de la UNAM

Febrero de 2022



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVO Y ALCANCES.....	4
CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO.....	4
PROGRAMA DE PRUEBAS.....	8
Especimen ensayado.....	8
Configuración del experimento.....	10
Protocolo de carga (historia de carga).....	12
Instrumentación.....	12
RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	13
Curva carga - deformación.....	13
Energía disipada.....	16
CONCLUSIONES.....	18
REFERENCIAS.....	19
AGRADECIMIENTO.....	20

INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha incrementado el estudio y uso de dispositivos innovadores en las estructuras de edificación con el propósito de controlar, reduciendo, las demandas de respuesta máxima absoluta o máxima acumulada ante la incidencia de sismos con intensidades tanto de servicio, como de falla. Los dispositivos se pueden clasificar en dos grandes rubros, aquellos que contribuyen a disipar una parte de la energía que el movimiento sísmico incide en la estructura, denominados genéricamente dispositivos disipadores de energía; y, por otro lado, los dispositivos por medio de los cuales se trata de filtrar o eliminar gran parte de la energía generada por el sismo prácticamente aislando a la edificación del suelo, estos genéricamente se conocen como aisladores de base. En las últimas décadas, en México se han empleado algunas de las propuestas de los dos esquemas, principalmente en las ciudades de México y Acapulco, algunos casos emblemáticos son el uso de disipadores de energía en la Torre Mayor y el edificio sede de las oficinas centrales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en cuanto al uso de sistema de aislamiento de base, el caso de mayor renombre y envergadura son algunos de los edificios que conforman el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Aunque los procedimientos de análisis y diseño de estructuras con la inclusión de este tipo de dispositivos han tenido desarrollos importantes, e incluso son temas que se desarrollan en algunas currículas de escuelas de ingeniería en varios países, entre los que se encuentra México, la mayoría de ellos cuentan con derecho de patente, lo que en algunos casos hace difícil su uso tanto desde el punto de vista técnico, debido a que la venta de los dispositivos puede incluir cláusulas de diseño por parte del fabricante, como por los costos. En ese orden de ideas, un grupo de investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM, junto con estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la misma universidad, propusieron el desarrollo de un sistema de disipación de energía innovador; que permita un procedimiento de análisis y diseño sencillo y claro, que además tenga ventajas constructivas.

En los criterios generales de diseño sismorresistente se hace énfasis en el principio de viga débil – columna fuerte como la base para la conformación del potencial mecanismo de falla estructural. Para lograr lo anterior, generalmente se acepta que las edificaciones disipen la mayor parte de la energía sísmica incidente por medio de daño controlado en las vigas; específicamente en los extremos de las vigas, donde ante la demanda de fuerzas laterales generadas por sismo se presentarán las mayores demandas de momento flexionante. En estos extremos de viga es donde el diseñador pretende lograr la formación de una articulación plástica, la cual en realidad sería algo similar a los dispositivos disipadores de energía propiamente dichos. Con base en ese criterio de conformación de articulaciones plásticas en los extremos de las vigas, se plantea la adición de elementos externos a las vigas y columnas que, ante la demanda de momento generada por las fuerzas laterales provocadas por el sismo, permita disipar energía por medio de la plastificación del material que los forma, sin aceptar daño en los elementos que forman propiamente el marco.

El presente trabajo muestra el planteamiento y desarrollo de un dispositivo tipo articulación plástica adosado en la unión de viga a columna en una estructura de marco momento resistente de concreto reforzado, trabajo que forma parte de un proyecto de Diseño Sismorresistente con Criterio de Resiliencia que desarrolla el Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuya parte experimental se lleva a cabo de manera conjunta con el CENAPRED en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras Grandes del Centro. Los resultados del estudio son parte del trabajo para obtener el grado de doctor que está desarrollando un estudiante del posgrado en Ingeniería de la UNAM.

En el documento se presenta la fabricación del modelo de prueba y el ensaye experimental de una conexión viga-columna innovadora, equipada con un dissipador de acero multiperforado. El espécimen se sometió a un protocolo de carga cíclico reversible aplicado de manera cuasi-estática. Se describen los especímenes ensayados, la configuración de los experimentos y los resultados obtenidos.

OBJETIVOS Y ALCANCES

Evaluar experimentalmente la factibilidad de construcción y eficiencia de un dispositivo dissipador de energía innovador, colocado como parte de la unión viga – columna en marcos de concreto reforzado. La validación se hace en un subensamble viga – columna y, después, en un marco plano de concreto reforzado prefabricado.

Se revisan los parámetros de diseño del dispositivo dissipador y su influencia en los valores de los parámetros asociados a respuestas ante incidencia de fuerzas laterales inerciales generadas por movimiento del terreno, como son: capacidad dúctil, capacidad de disipación de energía por ciclo y acumulada, porcentaje de amortiguamiento histerético generado por la aparición del daño controlado en el dispositivo.

El estudio abarca un solo dispositivo, a base de placas de acero multiperforadas y siendo implementado en marcos resistentes a momento de concreto reforzado.

CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO

La conexión innovadora viga – columna de este trabajo contempla un dispositivo dissipador de energía. El dispositivo fue hecho a base placa de acero multiperforada. Estos dispositivos disipan energía mediante la fluencia a flexión de las franjas de acero formadas al perforar agujeros alargados en el alma de una placa de acero. Dissipadores de este tipo, como los ADAS (Added Damping And Stiffness) han demostrado ser alternativas económicas y confiables para conexiones como elementos de disipación de energía en estructuras a base de marcos; pero a diferencia de los dispositivos tipo ADAS, cuya demanda de fluencia surge de la demanda de desplazamiento relativo del entrepiso, en el caso del dispositivo que corresponde al presente estudio, la demanda de fluencia surge de la demanda de rotación en los extremos de las vigas. Como la mayoría de los dispositivos,

se pretende que el que ocupa este trabajo permita mantener a otros elementos estructurales esencialmente elásticos.

En el sistema propuesto, el disipador es colocado horizontalmente y debajo de los extremos de la trabe, de concreto en este caso, mediante una placa vertical soldada al centro del disipador multiperforado. Las columnas y vigas pueden ser elementos prefabricados de concreto reforzado con acero convencional. Sin embargo, en estos casos el acero longitudinal no se extiende hasta el nudo, como es común en las estructuras de concreto, sino que es soldado en los extremos a las cajas de acero de la viga antes del colado del concreto que la forma (ver Figura 1).

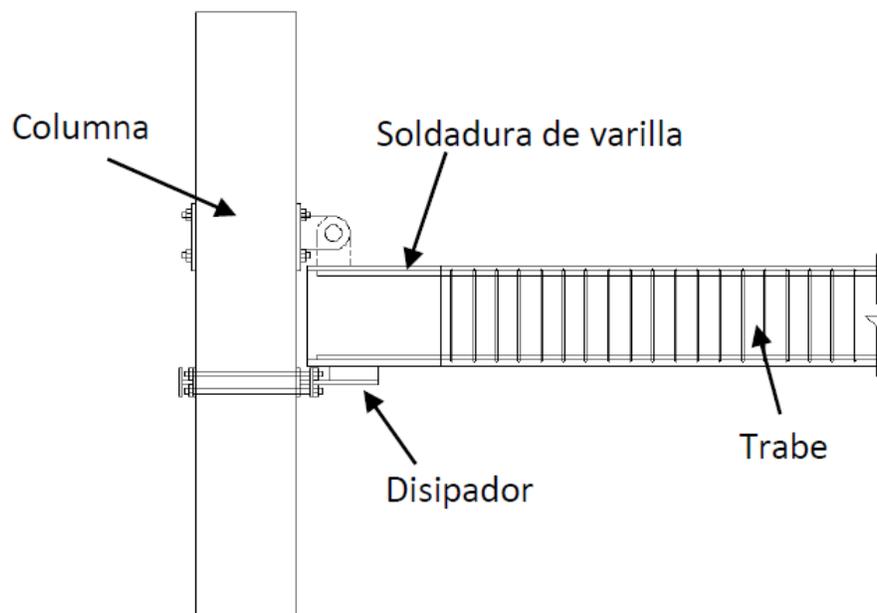


Figura 1 Esquema general de la conexión viga-columna con el dispositivo disipador de energía propuesto

Se pretende que el disipador propuesto explote una de las más grandes ventajas de la construcción prefabricada que es la velocidad de construcción, aunado a un mayor control de calidad en los materiales empleados y en la construcción de los diferentes componentes. Un marco resistente a momento puede ser montado rápidamente con el sistema propuesto porque las vigas y columnas pueden ser fabricadas independientemente en una planta prefabricadora. Una vez que se yerguen las columnas, las vigas pueden ser colocadas y conectadas a la columna mediante la interface que constituye el dispositivo disipador, un esquema simplificado del procedimiento constructivo para esta propuesta estructural se muestra en la Figura 2.

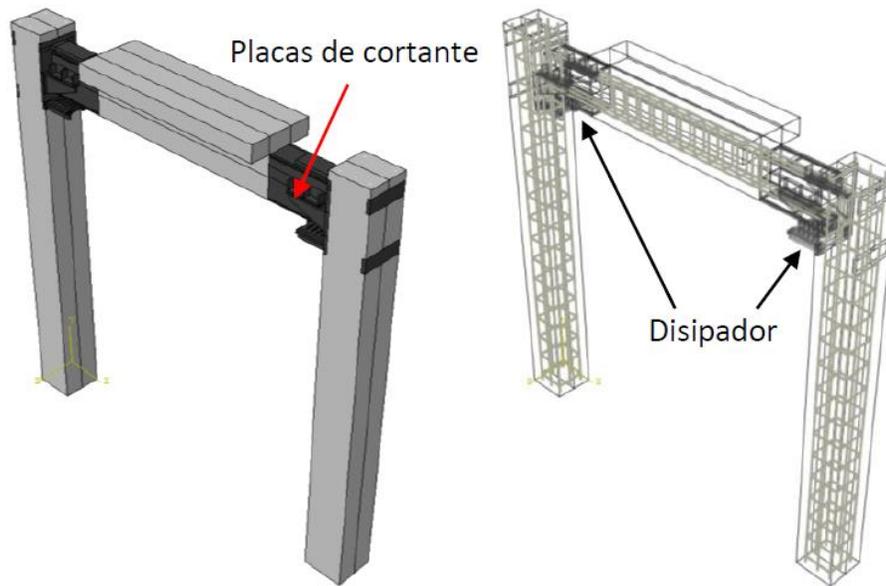


Figura 2 Representación esquemática del proceso constructivo de un marco con un dispositivo disipador de energía en la conexión viga – columna

La configuración del disipador de placa multiperforada se muestra en la Figura 3. Se fabricó con una placa de acero con agujeros alargados y redondeados en los extremos para reducir la concentración de esfuerzos en esas zonas. Las franjas de acero que se definen como los elementos donde se concentrará la plastificación y que, por lo tanto, le proporcionan la capacidad de disipación de energía, son referidas como costillas. Estas costillas bajo desplazamientos pequeños se comportan como vigas doblemente empotradas y se deforman en doble curvatura. Bajo desplazamientos mayores, el momento flexionante puede provocar que las fibras extremas de las costillas alcancen la fluencia y se generen articulaciones plásticas con una rotación θ_p . Considerando las secciones prismáticas rectangulares de las costillas, el momento plástico, M_p , asociado a cada costilla está dado por:

$$M_p = \frac{f_y t b^2}{4}$$

donde; f_y es el esfuerzo de fluencia del acero que forma la costilla, y t y b son el espesor y el ancho de las costillas, respectivamente.

Asumiendo comportamiento elasto-plástico perfecto, la carga de fluencia, P_y , puede ser determinada basado en un mecanismo de colapso cuando las articulaciones plásticas se formen en ambos extremos de todas las costillas como

$$P_y = \frac{n f_y t b^2}{2l'}$$

donde n es el número de costillas, y l' es la longitud efectiva de las costillas (ver Figura 1)

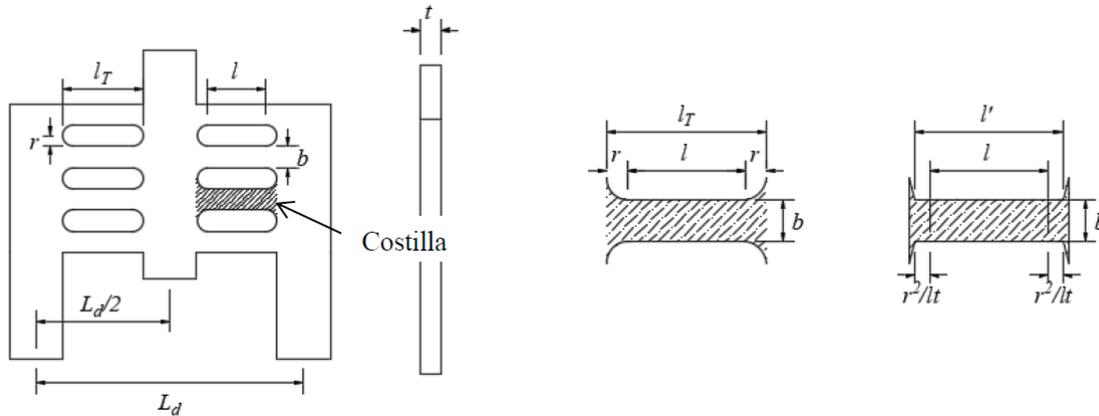


Figura 3 Representación detallada de la placa que conforma el dispositivo disipador propuesto con la placa multiperforada

Por las características geométricas del dispositivo y asumiendo que la viga permanecerá en comportamiento elástico, la demanda de desplazamientos del disipador pueden ser calculados a partir de los desplazamientos de la viga con una simple relación geométrica (ver Figura 4). El desplazamiento que genera la fluencia en el dispositivo disipador, cuando la carga es aplicada en la punta de la viga, se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\delta_{yb} = \frac{\delta_{yd} L_b}{H'}$$

donde L_b es la longitud entre el centro de rotación de la trabe y el punto de aplicación de la carga; H' es la longitud del centro de rotación de la trabe al centro del disipador; y δ_b y δ_d son los desplazamientos, debidos a la carga P , de la viga y del disipador, respectivamente.

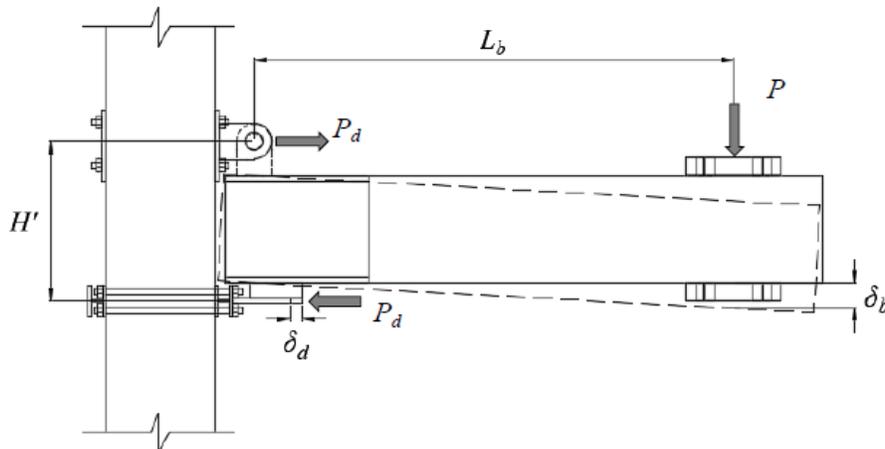


Figura 4 Representación esquemática de la relación entre los parámetros cinemáticos del modelo de prueba, desplazamiento de viga y del dispositivo disipador

Similarmente, la carga de fluencia en la punta de la viga, P_{yb} , y la rigidez elástica debida al desplazamiento unitario en la punta de la viga, k_b , son dadas por,

$$P_{yb} = \frac{P_y H'}{L_b}$$

$$k_b = \frac{P_{yb}}{\delta_{yb}}$$

Si la rigidez del disipador se asume que está determinada por la rigidez de las costillas del dispositivo en la placa ranurada, ésta se podrá calcular con la siguiente ecuación:

$$k_d = c \frac{n E_s t b^3}{l'^3}$$

donde, E_s es el módulo de elasticidad del acero, y c es un coeficiente de rigidez a calibrar mediante análisis numérico.

Finalmente, el desplazamiento del disipador puede ser obtenido con la siguiente ecuación:

$$\delta_{yd} = \frac{P_y}{k_d}$$

PROGRAMA DE PRUEBAS

A continuación, se describen el espécimen ensayado, el proceso de fabricación, los materiales utilizados, la configuración del experimento y el protocolo de carga aplicado.

Espécimen ensayado

El espécimen ensayado consistió en una conexión exterior viga-columna equipada con el disipador propuesto. La viga y la columna de concreto se fabricaron de forma independiente. Ambos elementos de concreto reforzado con las secciones transversales de la viga y de la columna, respectivamente, 300x450 mm y 450x450 mm, mientras que las longitudes de cada elemento fueron 2500 mm y 2700 mm. Ambos elementos se conectaron mediante una rótula, tipo bisagra, soldada en la parte superior de la caja de acero de la viga, y a la placa de acero anclada a la columna. Las propiedades mecánicas de los materiales fueron: resistencia a la compresión promedio del concreto de 43 MPa (medida a partir de pruebas de cilindros) con un tamaño máximo de agregado grueso de 19 mm; acero de refuerzo con un esfuerzo mínimo de fluencia de 420 MPa; y acero estructural con un esfuerzo de fluencia mínimo de 345 MPa. La fabricación del espécimen se muestra en la **Figura 5**. El refuerzo longitudinal de la trabe fue soldado a la caja de acero previamente

ensamblada en la parte superior e inferior y finalmente colocada dentro de la cimbra para posteriormente hacer el colado del concreto. Se colocaron verticalmente doce tubos de PVC de 50 mm de diámetro en la cimbra de la columna con el fin de pasar barras de acero roscadas a través de ellos. Con esta técnica se logró un anclaje adecuado de la conexión trabe-columna y las barras roscadas pueden ser reutilizadas posteriormente.



Figura 5 Fotografías que muestran el proceso de colado del concreto en los elementos, así como la colocación de la rótula

Posteriormente, se hizo el montaje de la conexión dentro del laboratorio. La columna se ancló a la losa de reacción y la rótula se soldó a la placa de acero sujeta a la columna mediante cuatro barras roscadas (ver Figura 5). De manera similar, se soldaron otras dos placas de la rótula a la parte superior de la caja de acero. Después, se presentó la viga y se conectó a la columna con un perno que atravesó las cuatro placas de la rótula. Finalmente, se utilizó un sujetador de acero para conectar los elementos de soporte del dissipador a la columna (Figura 6). Es importante mencionar que, aunque la conexión del espécimen ensayado no es práctica de ejecutar en el sitio, sigue siendo una representación aproximada del comportamiento del dissipador y una buena referencia para futuras investigaciones.

Configuración del Experimento

Este experimento es parte de una serie de pruebas realizadas con el objetivo de desarrollar una nueva conexión viga-columna que proporcionaría a los edificios de concreto reforzado, preferentemente prefabricados, un desempeño sísmico adecuado. El espécimen ensayado representó una conexión exterior viga-columna comprendiendo la región desde la mitad de la trabe hasta el nudo y de la mitad de la altura de la columna por debajo y por encima del nudo; en ambos elementos se está asumiendo que el punto de inflexión del diagrama de momentos flexionantes ante la demanda sísmica está a la mitad de la longitud del elemento. En la **Figura 7** se presenta una representación esquemática del dispositivo de aplicación de carga en el modelo de prueba, la columna se conectó a la losa de reacción en ambos extremos mediante barras de acero postensadas, lo que proporcionó una restricción rotacional limitada simulando un soporte articulado. En la **Figura 8** se muestra una fotografía del modelo ya montado en el para la prueba.



Figura 6 Fotografías que muestran el proceso de montaje de la conexión viga – columna

El modelo se sometió a una carga cíclica reversible cuasi-estática en el extremo de la trabe, parte superior del espécimen, a través de un gato hidráulico de doble acción, de 1000 kN de capacidad, con una carrera de ± 200 mm. Con respecto a la dirección de carga, la dirección de empuje del actuador se estableció como positiva y la dirección de jale se estableció como negativa. La carga positiva se aplicó primero para cada ciclo.

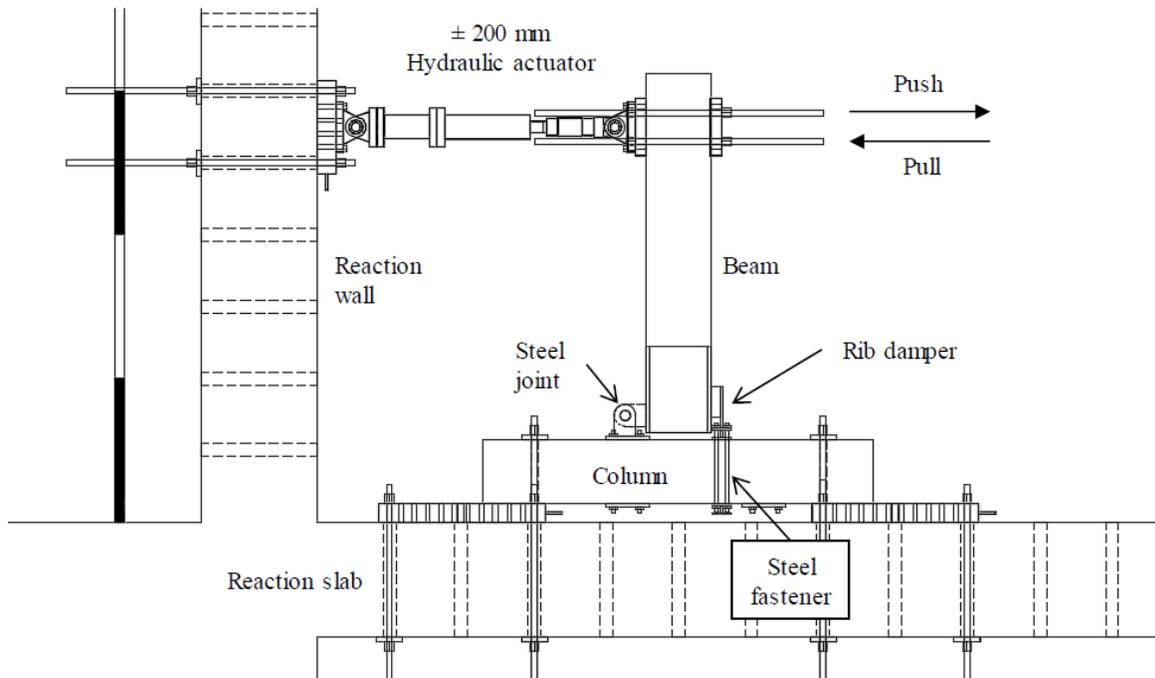


Figura 7 Representación esquemática del dispositivo de carga



Figura 8 Vista general del modelo en el sitio de prueba

Protocolo de carga (historia de carga)

El protocolo de carga utilizado para la evaluación sísmica del espécimen fue similar al prescrito por ACI 374.1-05. El protocolo se seleccionó para comparar los resultados de manera racional con una serie de ensayos previos de otros autores que utilizaron el mismo protocolo, mismo que se muestra en la **Figura 9**. De acuerdo con ACI 318-19, los marcos prefabricados especiales resistentes a momentos con conexiones secas que no cumplen con las Secciones 18.9.2.1 y 18.9.2.2 deben cumplir con ACI 374.1-05. Sin embargo, el espécimen ensayado es un subensamble viga-columna prefabricada con conexiones de acero y, por lo tanto, se estudió su comportamiento como tal. El protocolo consistió de tres ciclos para cada desplazamiento objetivo. El desplazamiento inicial estuvo dentro del intervalo elástico seguido de incrementos de no menos de 1.25 y no más de 1.5 veces el desplazamiento objetivo inmediato anterior. Según ACI 374.1-05, el protocolo de carga debe continuar hasta una distorsión de entrepiso mínima de 3.5%.

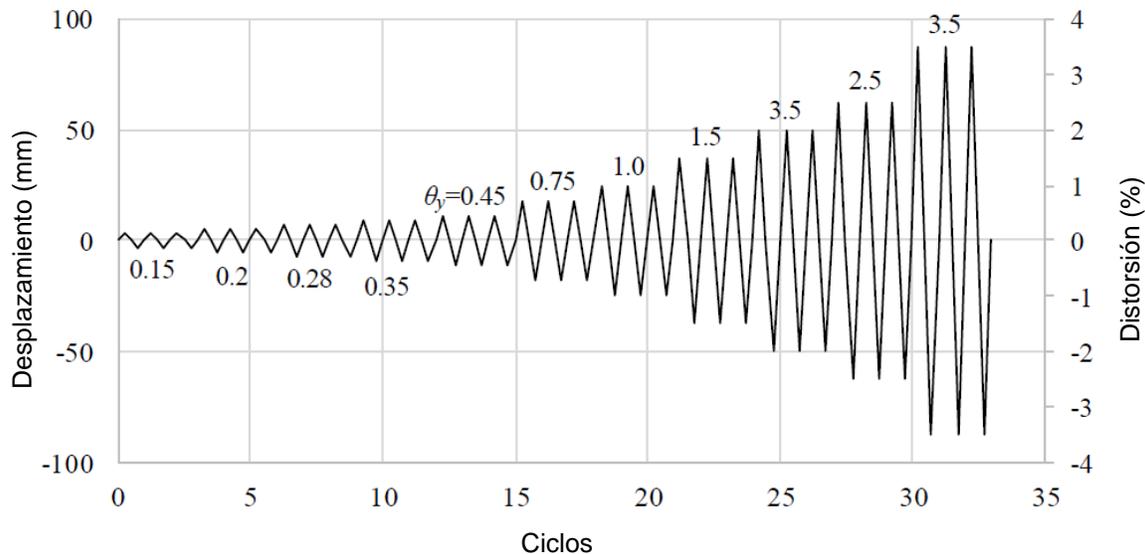


Figura 9 Protocolo de carga (historia de desplazamientos)

Instrumentación

Los desplazamientos del espécimen fueron evaluados con tres transductores (LVDT). Como se muestra en la **Figura 10**. Se colocó un LVDT horizontal (H1) para medir los desplazamientos globales del extremo de la viga a la altura del actuador, siendo el desplazamiento de control de prueba. Los desplazamientos verticales que permitirán calcular la rotación en el extremo de la viga, se midieron con dos LVDT (V1 y V2), uno cerca de la rótula (V2) y otro más cerca del dissipador (V1). Las deformaciones del acero de refuerzo se midieron con dos medidores de deformaciones unitarias (SG) colocados en el refuerzo longitudinal y otros dos en el acero transversal. En la Figura 10, L representa SGs longitudinales y T representa SGs transversales.

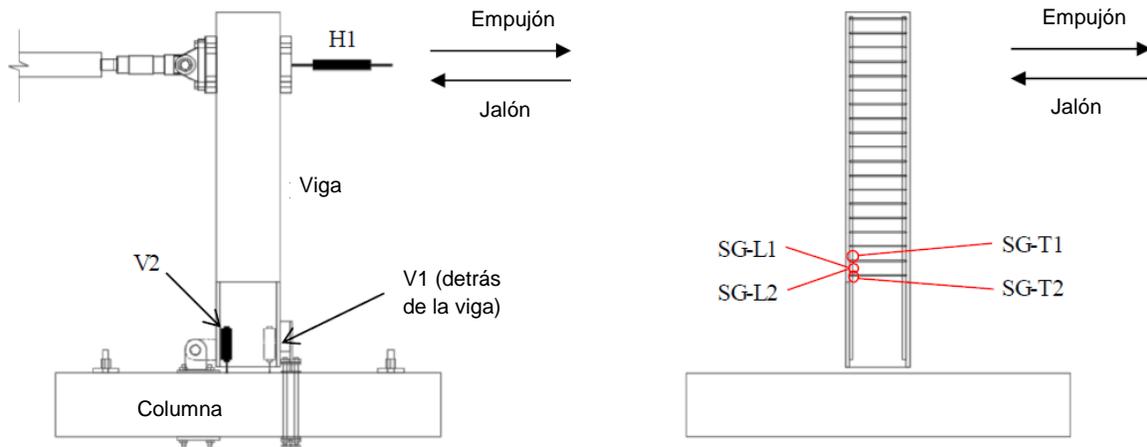


Figura 10 Representación esquemática de las instrumentaciones externa e interna

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Curva carga-deformación

La curva carga-deformación experimental del modelo se muestra en la **Figura 11**. La distorsión se obtuvo como la relación entre el desplazamiento horizontal de la viga, a la altura del actuador, y la distancia vertical desde el centro o eje de la columna hasta la línea central o eje del actuador. Las resistencias calculadas están representadas en las **Figuras 11 y 12** con líneas punteadas rojas, y se obtuvieron a partir de la carga de fluencia calculada del disipador mediante

$$P_y = \frac{n f_y t b^2}{2l'}$$

Como se puede observar, el espécimen presentó curvas de histéresis amplias y estables hasta el primer ciclo de distorsión 2.5%. Después de eso, se observó una pérdida significativa de capacidad de carga a partir del segundo ciclo a 2.5%, lo anterior probablemente debido a la fractura parcial de múltiples costillas. Finalmente, en el último ciclo se observó la rotura total de una de las costillas y se concluyó el ensayo. No se observó una degradación de rigidez significativa, sin embargo, se puede ver un ligero desfase de las curvas de histéresis a nivel de carga en la vecindad de cero, debido a un deslizamiento en la dirección de empuje. Esto se puede atribuir principalmente a la holgura entre el perno y la rótula.

Las envolventes de las curvas de histéresis en las direcciones positiva y negativa se muestran en la **Figura 12**. Los parámetros de desempeño como el desplazamiento de fluencia (δ_y), el desplazamiento último (δ_u), la carga de fluencia (P_y), la carga última (P_u) y la rigidez efectiva (K_e), se obtuvieron a partir de las envolventes bilineales idealizadas

utilizando el método de energía equivalente recomendado en ASCE 41-17. Los resultados se muestran en la **Tabla 1**. La carga última promedio fue 1.3 veces la carga de fluencia promedio.

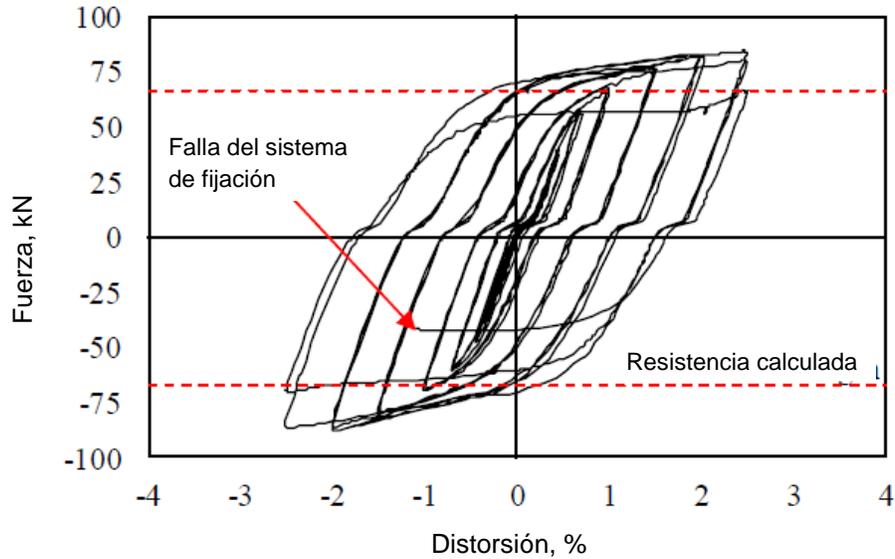


Figura 11 Representación esquemática de las instrumentaciones externa e interna

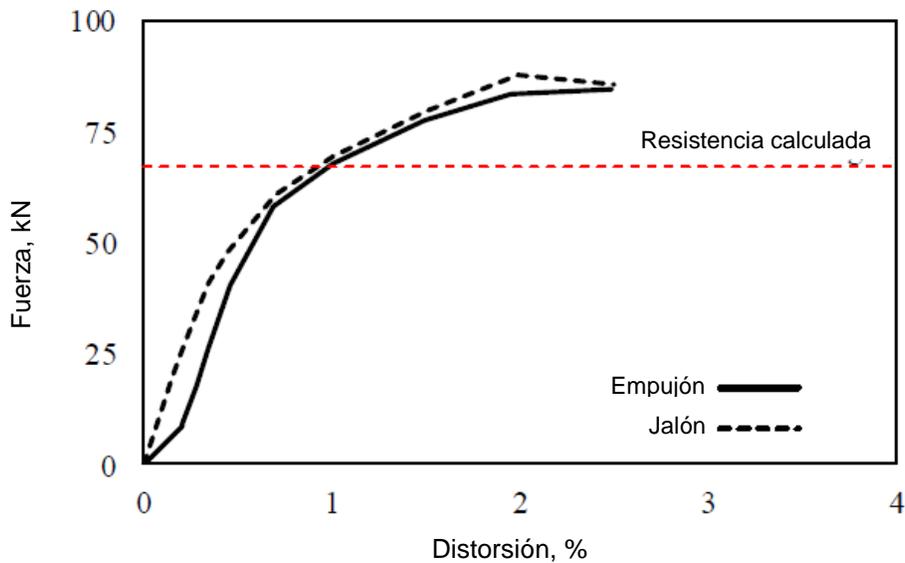


Figura 12 Representación esquemática de las instrumentaciones externa e interna

La carga última promedio fue 1.3 veces la carga de fluencia promedio. Cabe mencionar que la carga de fluencia obtenida con la ecuación mostrada anteriormente fue de 67 kN, que es consistente con la carga de fluencia obtenida a través de ASCE 41-17. Así mismo, se puede observar una respuesta simétrica con rigideces efectivas y ductilidades similares en ambas direcciones.

Tabla 1 Parámetros de desempeño del modelo ensayado

Dirección	P_u (kN)	P_y (kN)	δ_u (mm)	δ_y (mm)	K_e (kN/mm)	μ
Positivo	85	66	57.3	10.6	6.2	5.4
Negativo	86	67	62.8	13.3	5.0	4.7

También se evaluaron los desplazamientos verticales en los extremos de la viga, debidos a la rotación, para comprobar si la relación geométrica lineal, establecida previamente, se puede utilizar con fines de diseño. La **Figura 13** muestra los desplazamientos medidos con el LVDT vertical, V1, y los desplazamientos evaluados con la ecuación utilizando los desplazamientos medidos en la punta de la viga y la distancia desde el centro de rotación hasta la posición de V1. Como se puede observar, los desplazamientos medidos y calculados concuerdan razonablemente. Para propósitos de diseño, calcular los desplazamientos verticales de la viga es importante para que el espacio entre la viga y la columna sea suficiente para asegurar que no golpee a la columna durante un evento sísmico. Cabe mencionar que la carrera del transductor se acabó en el sentido negativo. De manera similar, las distorsiones de las costillas se pueden obtener como la relación entre los desplazamientos verticales al centro del dissipador y la distancia entre las placas lateral y central del mismo, $L_d/2$, que se muestra en la **Figura 3**. En la **Figura 14** se muestra la curva carga-desplazamiento del dispositivo dissipador. Se evaluaron las distorsiones de las costillas a partir de los desplazamientos de la viga. La distorsión máxima de las costillas fue de 16.8% y se presentó a una distorsión de 2.5% de la viga.

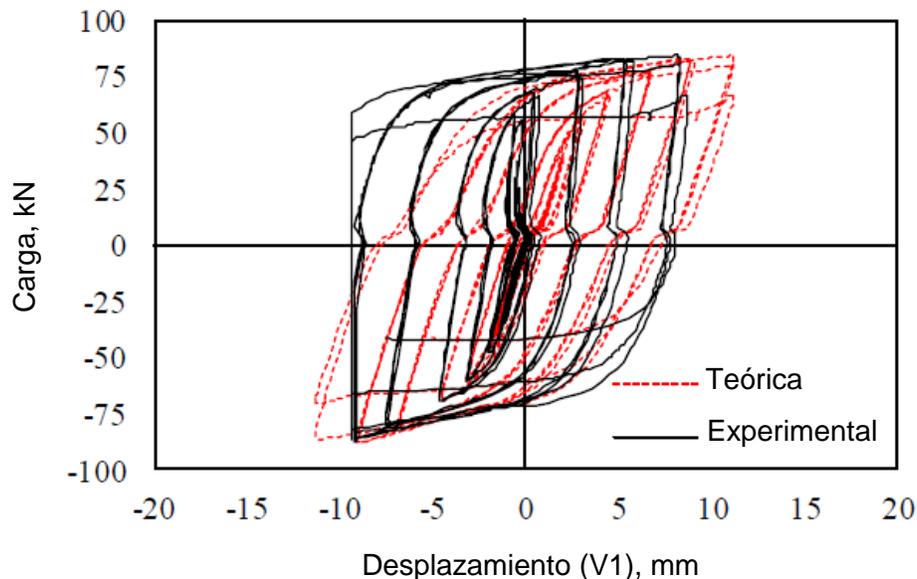


Figura 13 Comparación de los desplazamientos verticales experimentales y calculados

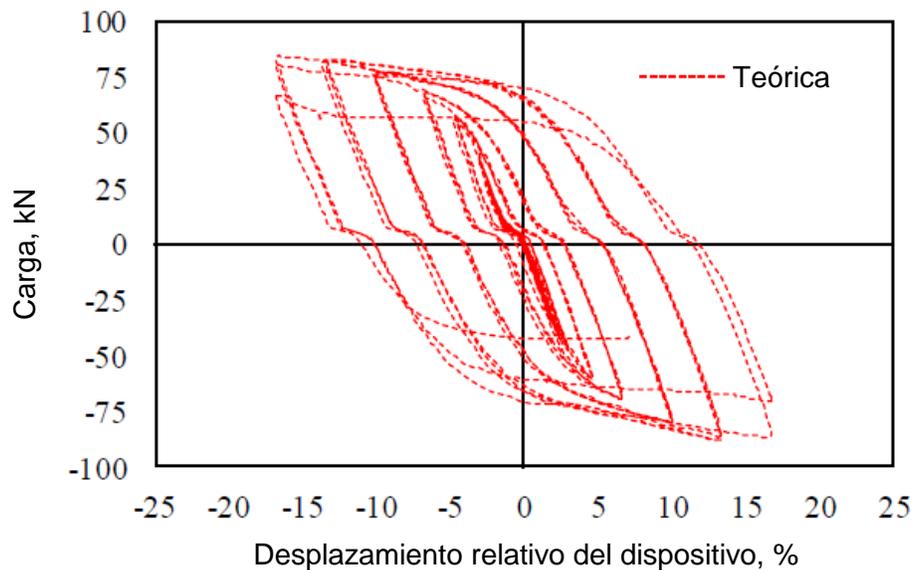
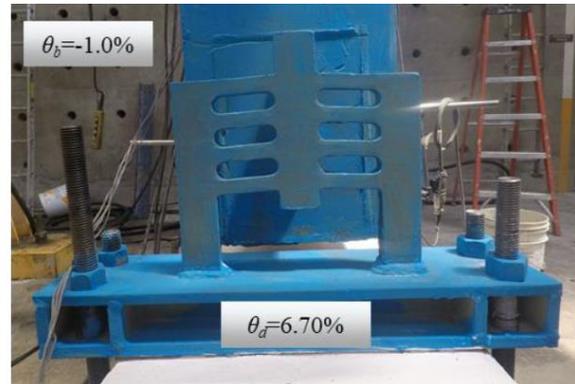
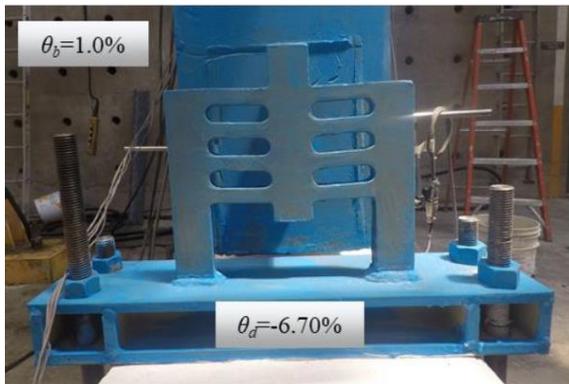


Figura 14 Curva carga – desplazamiento del dispositivo disipador

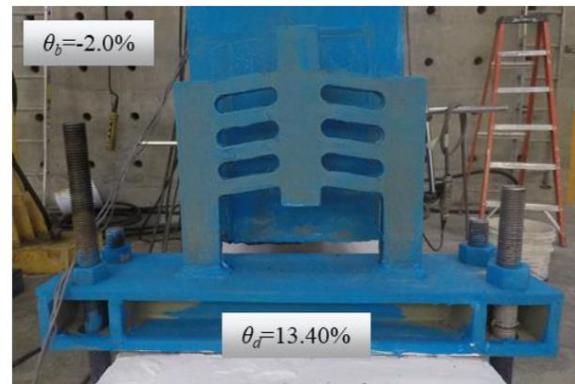
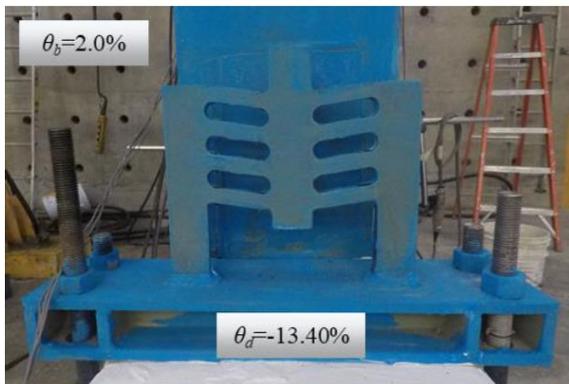
La configuración deformada del disipador a distorsiones de la viga de: a) $\pm 1.0\%$; b) $\pm 2.0\%$; y c) 2.5% ; se muestra en la **Figura 15**. Cada figura también muestra las distorsiones equivalentes de las costillas. La deformada del disipador a una distorsión de 1% en la viga no era evidente, sin embargo, a una distorsión de 2.0% , la deformada resulta. En el primer ciclo a 2.5% de distorsión, aparecieron pequeñas fracturas en los extremos de las costillas. Una de las costillas se fracturó por completo en el último ciclo, tras lo cual se concluyó la prueba. El estado final del disipador se muestra en la **Figura 16**.

Energía disipada

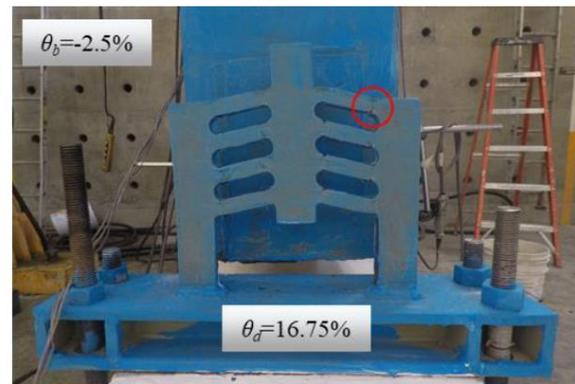
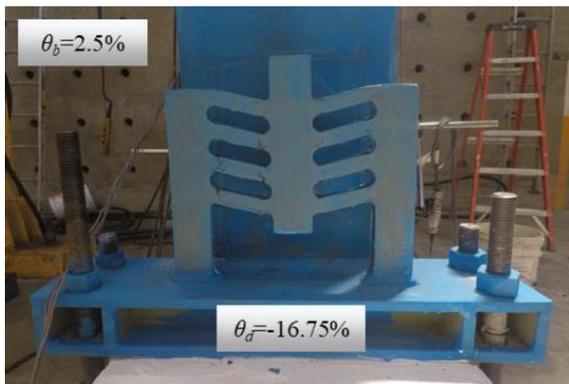
La energía histéretica disipada por ciclo y la energía disipada acumulada se muestran en las **Figuras 17a y 17b**, respectivamente. Se puede observar en la **Figura 17a** que el espécimen disipó poca energía mientras aún se encontraba dentro del intervalo elástico (hasta el ciclo 15). Después de eso, aunque se incursiona definitivamente en el intervalo de comportamiento inelástico, las curvas de histéresis no mostraron una degradación significativa de resistencia y rigidez, hasta que el espécimen estuvo cerca de la falla en el último grupo de ciclos, pudiendo aplicar únicamente medio ciclo al final de la prueba (ciclo 30). La **Figura 17b** muestra claramente como después del ciclo 15 la curva presenta características que permiten identificar un incremento notable de disipación de energía, disipando un total de energía de $73 \text{ kN}\cdot\text{m}$.



a)



b)



c)

Figura 15 Deformada del dissipador propuesto a distorsiones de: a) 1%, b) 2%, c) 2.5%



Figura 16 Estado final del dispositivo disipador ensayado

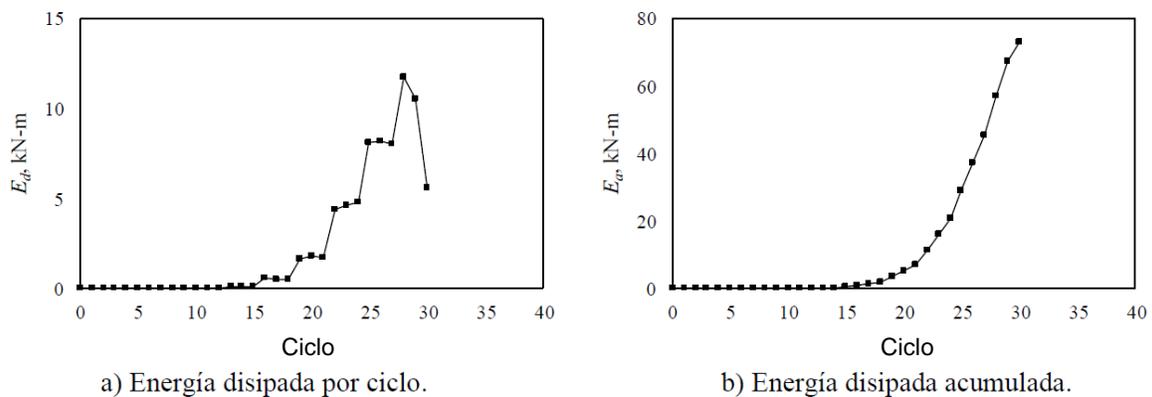


Figura 17 Energía histerética disipada

CONCLUSIONES

Se mostraron los resultados más relevantes del proyecto de investigación, mismos que consistieron principalmente en las pruebas experimentales de una conexión innovadora trabe-columna equipada con un disipador histerético. Las pruebas mostraron que la conexión desarrollada es prometedora, ya que concentra el comportamiento plástico en el disipador; mismo que además resulta ser de bajo costo. En este sentido, con el sistema propuesto, la operatividad de una estructura puede recuperarse en un periodo corto y a bajo costo después de un evento sísmico.

La conexión logra disipar una gran cantidad de energía mientras que los elementos estructurales (viga y columna) se mantienen esencialmente elásticos y sin daño. En comparación con conexiones monolíticas y prefabricadas de concreto reforzado, la degradación de rigidez resultó significativamente reducida, lo cual es relevante en caso de que se presenten réplicas después de un evento sísmico, o bien para mantener el mismo nivel de respuesta ante trenes secuenciales de incidencia sísmica.

Finalmente, a modo de recomendación, resulta necesario llevar a cabo una revisión exhaustiva sobre la idoneidad y pertinencia constructiva del sistema.

REFERENCIAS

- [1] R.W.K. Chan, F. Albermani, Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation, *Eng. Struct.* 30 (2008) 1058-1066. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.07.005>.
- [2] A. Naeem, J. Kim, Seismic performance evaluation of a multi-slit damper, *Eng. Struct.* 189 (2019) 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.107>.
- [3] S.H. Oh, Y.J. Kim, H.S. Ryu, Seismic performance of steel structures with slit dampers, *Eng. Struct.* 31 (2009) 1997-2008. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.003>.
- [4] H. Park, S. Oh, Structural performance of beam system with T-stub type slit damper, *Eng. Struct.* 205 (2020) 109858. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109858>.
- [5] H. Guerrero, T. Ji, A. Teran-Gilmore, J.A. Escobar, A method for preliminary seismic design and assessment of low-rise structures protected with buckling-restrained braces, *Eng. Struct.* 123 (2016) 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.05.015>.
- [6] A. Teran-Gilmore, N. Virto-Cambray, Preliminary design of low-rise buildings stiffened with buckling-restrained braces by a displacement-based approach, *Earthq. Spectra.* 25 (2009) 185-211. <https://doi.org/10.1193/1.3054638>.
- [7] R. Sabelli, S. Mahin, C. Chang, Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling restrained braces, *Eng. Struct.* 25 (2003) 655-666. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00175-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00175-X).
- [8] E. Bojórquez, J. Ruiz-garcía, Residual drift demands in moment-resisting steel frames subjected to narrow-band earthquake ground motions, (2013) 1583-1598. <https://doi.org/10.1002/eqe>.
- [9] ASCE/SEI 41-17, Seismic evaluation and retrofit of existing buildings, American Society of Civil Engineers, 2017.

AGRADECIMIENTO

La Subdirección de Riesgos Estructurales del CENAPRED agradece ampliamente al estudiante que está desarrollando el proyecto dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería de la UNAM, ya que permitió el uso de parte de la información del estudio.

Además, no se omite hacer mención al hecho de que la construcción total de los elementos empleados en el estudio experimental fue realizada por el mismo estudiante.

También se extiende un reconocimiento y agradecimiento al tutor principal del estudiante, el Dr. Héctor Guerrero Bobadilla, que sin su entusiasmo y empuje no hubiera sido posible el desarrollo de este estudio.