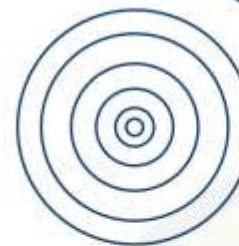




Congreso
Nacional
DE INGENIERÍA
SÍSMICA
2022



La Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana y La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Certifican que el artículo:

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA EDIFICACIÓN DISEÑADA CON DOS TIPOS DE
DISIPADORES SÍSMICOS CONTROLADOS POR DEFORMACIÓN EN EVENTOS SÍSMICOS
EXTREMOS.

Rómulo A. Guerrero, Gabriel Bernal y Maritzabel Molina.

Fue presentado en el X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Junio 15, 16 y 17 de 2022
en Bogotá, Colombia.

Lope Hugo Barrero Solano
Decano Facultad de Ingeniería

Eduardo Castell Ruano
Presidente de la AIS

Jesús Daniel Villalba
Coordinador académico



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

Facultad de Ingeniería

ais Asociación Colombiana
de Ingeniería Sísmica

Evaluación del desempeño de una edificación diseñada con dos tipos de disipadores sísmicos controlados por deformación en eventos sísmicos extremos

Performance evaluation of a building designed with two types of seismic dissipators controlled by deformation on extreme seismic events

Resumen

Para una misma geometría en planta se diseñaron tres edificaciones en concreto reforzado con diferentes sistemas de resistencia sísmica: i) pórticos, ii) pórticos con disipadores metálicos hysteréticos tipo TADAS y iii) pórticos con disipadores 8 de las edificaciones frente a la acción de acelerogramas sintéticos extremos determinados bajo las condiciones de sitio establecidas (amenaza sísmica y perfil de suelo), mediante análisis dinámicos no lineales, obteniendo las respuestas estructurales principales y el nivel de daño en los elementos. Se ilustra que las respuestas estructurales de las edificaciones con disipadores presentan una reducción considerable, pero el nivel de daño en los elementos y el desempeño asociado es bastante similar.

Palabras clave: disipadores sísmicos; desempeño; acelerogramas sintéticos; TADAS; BRB.



Guerrero, R. A.¹

Bernal, G. A.²

Molina, M.³

¹ Estudiante Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, raguerreroc@unal.edu.co

² Profesor Auxiliar, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, gbernalg@unal.edu.co

³ Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, mmolinah@unal.edu.co

Generalidades

Evaluar el desempeño de edificaciones frente a la acción de diferentes eventos sísmicos, permite conocer de forma detallada el estado de afectación de los diferentes elementos estructurales, y verificar que en efecto las hipótesis del diseño sísmico se cumplan. Para esto se utilizan los fundamentos del análisis no lineal dinámico, aplicando el acelerograma del evento sísmico particular en forma de aceleración externa del terreno, y obteniendo las respuestas estructurales y el nivel de plastificación en los elementos.

Por otra parte, los sistemas de protección sísmica son una opción cada vez más utilizada en el diseño de edificaciones nuevas. Estos elementos brindan la capacidad de controlar la respuesta de la edificación ante eventos sísmicos, protegiendo así al sistema estructural principal de la edificación. Entre los sistemas de protección sísmica se destacan los disipadores controlados por desplazamiento, los cuales concentran el daño producido por la carga sísmica mediante la deformación en el rango plástico.

En esta investigación se integraron los dos aspectos mencionados, planteando la evaluación del desempeño de tres edificaciones en concreto reforzado con un sistema de resistencia sísmica diferente: i) pórticos, ii) pórticos con disipadores metálicos histeréticos tipo TADAS y iii) pórticos con disipadores BRB (riostros de pandeo restringido).

Las tres edificaciones se diseñaron con la misma configuración en planta y en altura para efectos de comparación del desempeño obtenido entre los dos tipos de sistemas de disipación y la opción convencional. Las edificaciones se ubicaron en un lugar de amenaza sísmica alta, con doce niveles y alturas de piso de tres metros. Los materiales utilizados son, concreto de resistencia a la compresión de 28 MPa y acero de esfuerzo de fluencia de 420 MPa. La geometría en planta presenta una irregularidad, tal como se aprecia en la Figura 1.

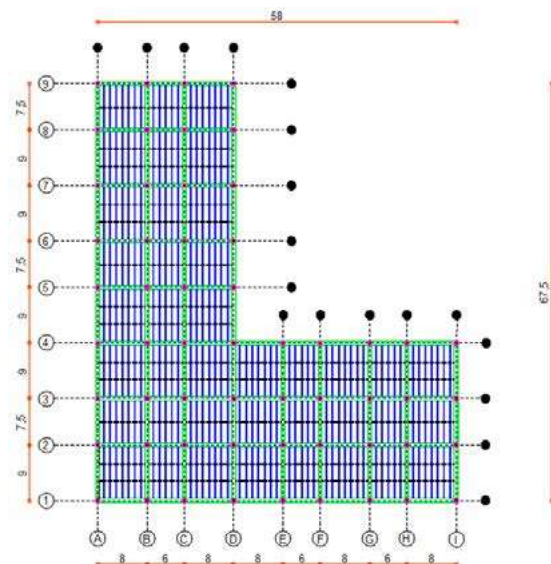


Figura 1. Geometría en planta para las edificaciones (medidas en metros)

Disipadores sísmicos TADAS y BRB

Los disipadores son un tipo de sistema de control sísmico que básicamente le brinda una capacidad mayor a la estructura mediante el aumento del amortiguamiento. Existen dos tipos generales de disipadores sísmicos, los dependientes de la velocidad y los dependientes del desplazamiento. En este trabajo se consideraron dos tipos de dispositivos controlados por el desplazamiento, los cuales disipan energía mediante la deformación desarrollada al entrar en fluencia en el rango inelástico. La forma en cómo se desarrolla este proceso genera que existan muchos tipos de disipadores.

En lo que respecta a los disipadores histeréticos metálicos de tipo TADAS, la disipación de energía se localiza en una serie de placas triangulares de acero de espesor pequeño, colocadas adecuadamente para que trabajen a flexión ante carga lateral como la de los sismos, en ciclos de histéresis en el rango plástico. La serie de platinas se instalan entre una viga de la estructura principal y un sistema de arriostramientos con diagonales también de acero. La modelación de este comportamiento desarrollada por [1] se formuló por medio de un elemento tipo *frame* con una rótula plástica definida con los puntos de fluencia y de falla a momento de las platinas trabajando en paralelo como se indica en la Figura 2.

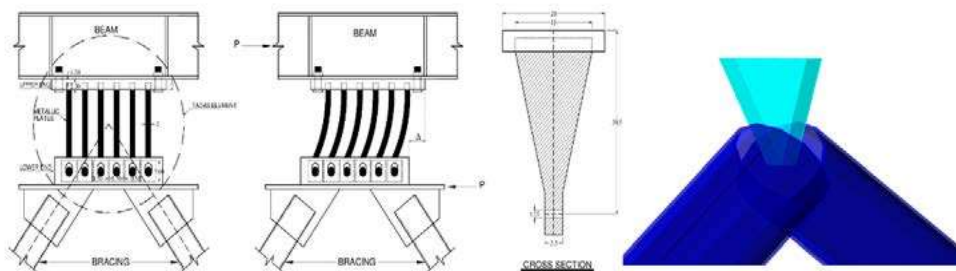


Figura 2. Disipadores histeréticos metálicos triangulares TADAS. A la izquierda, representación esquemática [2] y a la derecha, modelación propuesta

En el caso de las riostras de pandeo restringido BRB, presentan un comportamiento similar a los dispositivos TADAS, pero la disipación de energía se localiza en perfiles de acero utilizados como arriostramiento en los pórticos de la estructura principal, con lo que el sistema trabaja en carga axial. Como ante carga de compresión, los arriostramientos tienen a pandearse, al perfil se encierra dentro de otro perfil tubular relleno de mortero. En esta investigación se planteó realizar la simulación del comportamiento de los BRB (Figura 3) de la misma forma que los TADAS, utilizando elementos tipo *frame*, en donde se define la rótula plástica mediante las propiedades de fluencia y de falla del perfil interno ante carga axial cíclica.

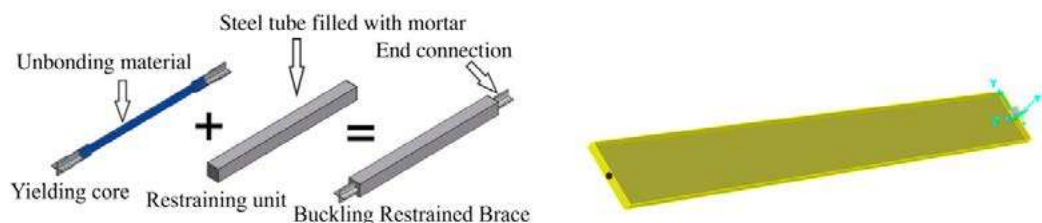


Figura 3. Riostras de pandeo restringido BRB. A la izquierda, representación esquemática [3] y a la derecha, modelación propuesta

Diseño de las edificaciones

El diseño de la edificación convencional se realizó siguiendo la normativa nacional de Colombia para construcciones sismorresistente (NSR-10), definiendo unas fuerzas sísmicas de diseño a partir del espectro de aceleraciones de diseño obtenido según las características de amenaza sísmica y condiciones de suelo del lugar. Las secciones para los elementos estructurales obtenidas estaban en el rango de 0.6 m a 0.9 m en vigas, y de 0.8 m a 1.3 m en columnas.

Las edificaciones con disipadores se diseñaron siguiendo el capítulo 18 de la norma ASCE 7-16. El criterio de diseño principal establecido allí es que la estructura principal de la edificación se diseña solamente para el 75 % de las fuerzas sísmicas de diseño, y con la incorporación del sistema de disipación se verifican posteriormente todos los requisitos considerando el 100 % de la fuerza sísmica. El prediseño de la estructura principal para el 75 % de la fuerza sísmica dio como resultado secciones más pequeñas frente a la edificación convencional, entre 0.7 m a 0.9 m en vigas y entre 0.7 m a 1.1 m en columnas.

Por otra parte, para la definición de las características del sistema de disipación se utilizó el enfoque de deriva de piso constante desarrollado por [4], la cual se explica en la Figura 4. De la figura se observa que la rigidez total del sistema se obtiene al superponer los efectos del sistema de disipación y los pórticos de concreto, pero para garantizar que el sistema de disipación proteja a la estructura principal este debe entrar en fluencia antes. Bajo esta consideración, la relación entre la deriva de piso del sistema de disipación y el sistema de pórtico debe ser menor que la unidad:

$$\nu = \frac{\Delta_{Dy}}{\Delta_{Fy}} < 1.0 \quad (1)$$

Definiendo un valor para la relación anterior, y obteniendo el valor de deriva de fluencia por piso para el sistema de pórticos mediante un análisis

push over, se pueden determinar los valores de deriva de fluencia y rigidez necesarios para el sistema de disipación. Aplicando esta metodología se obtienen las propiedades para los sistemas de disipación, tales como el número de platinas necesarias para los TADAS o la longitud de la zona plástica y elástica en los BBR.

En total, se instalaron nueve disipadores TADAS o BRR en cada nivel de la edificación y en cada dirección, distribuidos como se indica en la Figura 5.

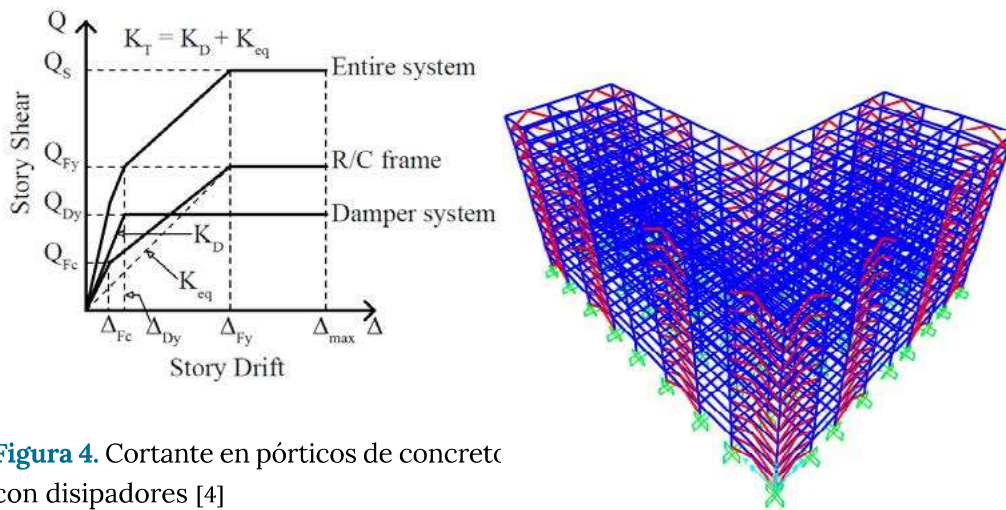


Figura 4. Cortante en pórticos de concreto con disipadores [4]

Además de verificar el diseño de las edificaciones con disipadores para el 100 % de la fuerza sísmica de diseño, el ASCE 7-16 exige una verificación adicional con el sismo máximo esperado que se define como 1.5 veces el sismo de diseño, y también es necesario verificar el comportamiento del sistema de disipación.

Evaluación del desempeño

El desempeño de la evaluación se realizó a través de una metodología de simulación del movimiento fuerte que generaba acelerogramas sintéticos en el lugar determinado para el análisis, esto mediante un enfoque sísmológico de fuente finita que generaba el acelerograma del evento a nivel de roca, y posteriormente se transitaba por un modelo unidimensional no lineal de respuesta de suelos blandos, para obtener la señal sísmica utilizada en los análisis no lineales dinámicos realizados. Para el presente caso, se consideraron los resultados del evento con nivel de aceleración mayor definido en el siguiente acelerograma (véase Figura 6).

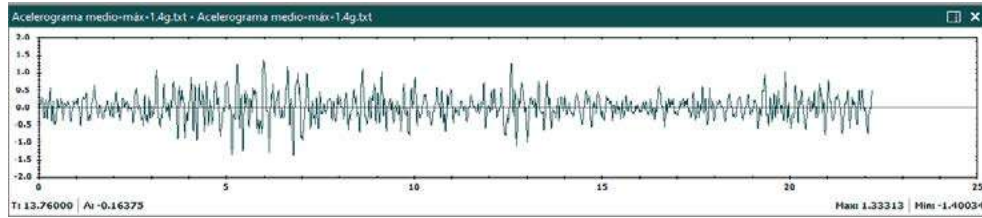


Figura 6. Acelerograma máximo utilizado en la evaluación del desempeño (unidades en g)

Las respuestas obtenidas para el análisis en dirección X para desplazamiento máximo y cortante en la base se pueden apreciar en las Figuras 7 y 8.

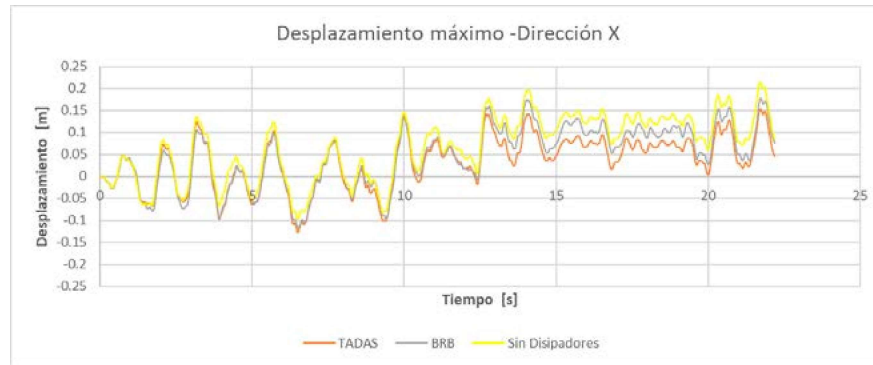


Figura 7. Comparación de desplazamiento máximo obtenido en las tres edificaciones

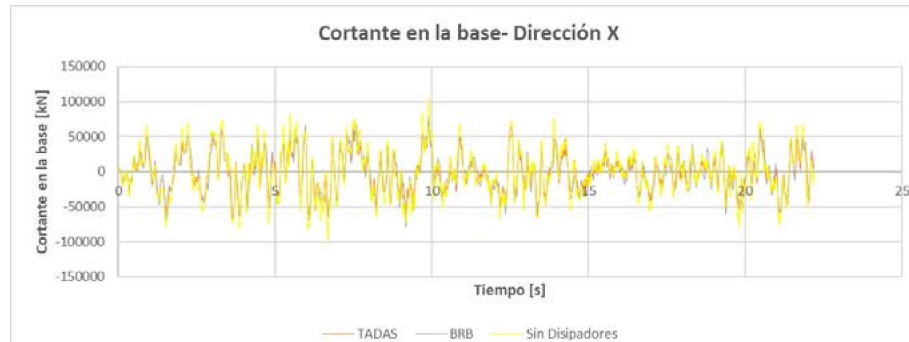


Figura 8. Comparación de cortante en la base, obtenido en las edificaciones

Se observa como tendencia general, que en los dos parámetros se obtiene una reducción de la respuesta estructural en las edificaciones equipadas con sistemas de disipación frente a la edificación convencional, la reducción es aproximadamente del 30 % a nivel de cortante y del 20 % a nivel de desplazamiento. Por otra parte, en la Figura 9 se presenta el estado de plastificación final obtenido del análisis en cada edificación,

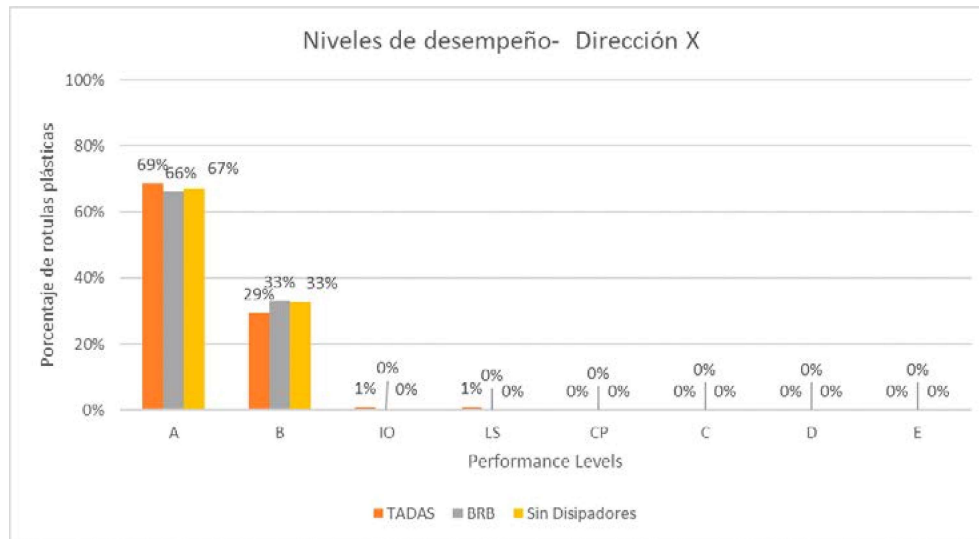


Figura 9. Conteo porcentual de rótulas plásticas generadas en las edificaciones

mediante una comparación porcentual del número de rótulas plásticas generadas para los tres casos.

Se observa que a pesar de la reducción en las respuestas estructurales, el estado de plastificación tiende a ser bastante similar en las tres edificaciones, generando porcentajes parecidos de rótulas en los elementos agrupados en los mismos niveles de desempeño. Por otra parte, a pesar de ser un evento sísmico bastante considerable, las tres edificaciones soportan adecuadamente el evento, pues no se detectan elementos estructurales que fallen, y los mayores niveles de plastificación se concentran precisamente en los sistemas de disipación, pero no sobrepasan el nivel de desempeño de LS (*Life-Safety*).

Conclusiones

- El desempeño obtenido en las tres edificaciones es satisfactorio ante los eventos sísmicos; los elementos no presentaron niveles de daño asociados a la falla, a pesar de que los eventos estaban configurados para condiciones más altas que el sismo de diseño.
- Las edificaciones con disipadores presentaron una reducción en las respuestas estructurales, pero esta diferencia no repercute en los niveles de plastificación alcanzados, y el desempeño global de las tres edificaciones es bastante similar.
- Los disipadores tipo TADAS y BRB se muestran como opciones de diseño adecuadas para considerarse como una alternativa dentro del diseño de edificaciones nuevas, desde el punto de vista de respuesta estructural. Ventajas adicionales en otros aspectos deben ser investigadas.

Referencias

- [1] CANO, H. (2020). *Evaluación del coeficiente de disipación de energía R, en edificaciones de concreto reforzado con disipadores histeréticos metálicos triangulares tipo TADAS, en zonas de amenaza sísmica alta*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [2] ALEHASHEM, S., KEYHANI, A., & POURMOHAMMAD, H. (2008). *Behavior and performance of structures equipped with ADAS & TADAS dampers (a comparison with conventional structures)*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.
- [3] PIEDRAFITA, D., CAHIS, X., SIMON, E., & COMAS, J. (2013). A new modular buckling restrained brace for seismic resistant buildings. *Engineering Structures*, 56, 1967-1975.
- [4] OVIEDO, A., MIDORIKAWA, M., & ASARI, T. (2010). Earthquake response of ten-story story-drift-controlled reinforced concrete frames with hysteretic dampers. *Engineering Structures*, 32(6), 1735-1746.