

CAPÍTULO 15.

DISIPADORES SÍSMICOS METÁLICOS DE FLUENCIA CÍCLICA Y ESFUERZOS RESULTANTES PARA EVITAR EL COLAPSO DE LA EDIFICACIÓN SOCIAL

Arturo Esaquiel Maza Rubina¹
David Nonato Maza Rubina²

¹: Ingeniero Mecánico. Magister en Ingeniería Mecánica. Doctor e Ingeniería Civil.

 <https://orcid.org/0000-0003-2857-3970>

²: Ingeniero Civil. Magister en Ingeniería Civil.

 <https://orcid.org/0000-0003-2838-6868>

RESUMEN

Breve descripción del objetivo del artículo, en el que se presenta la investigación sobre el uso de disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica en edificaciones sociales. Se destacan los aspectos clave como el mecanismo de disipación de energía, los beneficios para la protección de estructuras durante un sismo, y los esfuerzos que se generan en las estructuras para evitar el colapso. Además, se menciona la metodología empleada, los resultados obtenidos y la importancia de estos dispositivos en la mejora de la seguridad sísmica en edificios de uso social.

Palabras clave: disipadores sísmicos metálicos, esfuerzos resultantes, colapso, edificación social.

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es un tema de gran preocupación en muchas regiones del mundo, particularmente en áreas con alta actividad sísmica. Las zonas urbanas densamente pobladas, donde se encuentran muchas edificaciones sociales, son las más expuestas a los riesgos derivados de los terremotos (Vargas-Valdivia, 2024). Las edificaciones sociales, que albergan a miles de personas, son especialmente susceptibles debido a sus características estructurales, las cuales no siempre cumplen con las exigencias sísmicas actuales (Perfecto Bernardo & Vega Salinas, 2023). En muchos casos, estas estructuras no cuentan con la capacidad suficiente para resistir los esfuerzos dinámicos generados por un sismo, lo que incrementa el riesgo de colapso y, por ende, la posibilidad de pérdidas humanas y materiales. De acuerdo con estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los terremotos son responsables de un alto porcentaje de muertes y desplazamientos forzosos en áreas urbanas, lo que resalta la urgencia de mejorar la resistencia sísmica en edificios de uso social (Pérez et al., 2020).

En este contexto, la implementación de tecnologías que mejoren la capacidad sísmica de las edificaciones se ha vuelto esencial para la protección de la población. Una de estas tecnologías son los disipadores sísmicos, dispositivos que se utilizan para mitigar las fuerzas sísmicas durante un terremoto, reduciendo la transferencia de energía a la estructura principal del edificio (Guerrero Cuervo, 2022). Estos dispositivos pueden adoptar diversas formas y materiales, pero entre los más prometedores se encuentran los disipadores metálicos de fluencia cíclica. Estos disipadores son capaces de absorber y disipar la energía sísmica mediante la deformación plástica de materiales metálicos, proporcionando una solución eficiente y económica para la protección sísmica de edificaciones (Flores Garcia, 2022). La eficiencia de estos disipadores radica en su capacidad para soportar cargas cíclicas sin perder su efectividad, lo que los convierte en una opción viable para edificaciones

sociales que experimentan terremotos recurrentes (Ali et al., 2019; Changa Cotrina & Carbonell Ibarguengoitia, 2021).

La importancia de este estudio radica en evaluar específicamente el uso de disipadores metálicos de fluencia cíclica en el contexto de la edificación social. Si bien existen investigaciones que han analizado el comportamiento de estos dispositivos en diferentes tipos de estructuras, su aplicación en edificios de uso social ha recibido menos atención. Este tipo de edificaciones presenta características particulares, como grandes dimensiones, distribución espacial y ocupación densa, que requieren soluciones especializadas (Apolo Aguilar & Esquivel Campoverde, 2024). A través de la implementación de disipadores sísmicos, se puede reducir la transferencia de esfuerzos sísmicos a los componentes estructurales, lo que contribuye a la prevención del colapso y mejora la seguridad de los ocupantes. Además, el costo relativamente bajo y la facilidad de implementación de estos disipadores hacen que su uso en edificaciones sociales sea una opción atractiva y efectiva (Cevasco Beramendi & Condo Vargas, 2020).

Los disipadores metálicos de fluencia cíclica funcionan a través de un mecanismo de deformación plástica en los materiales metálicos, los cuales, al ser sometidos a cargas sísmicas, se deforman permanentemente, disipando la energía del sismo. Este proceso de disipación se repite de forma cíclica sin que el disipador pierda su capacidad de funcionamiento, lo que lo convierte en un dispositivo ideal para estructuras expuestas a terremotos recurrentes. La fluencia cíclica se logra mediante el uso de aleaciones metálicas específicas que permiten una deformación controlada sin falla estructural, lo que garantiza la longevidad y la efectividad del dispositivo en el tiempo (Montoya et al., 2021).

El objetivo principal de este estudio es analizar los esfuerzos resultantes de la integración de disipadores metálicos de fluencia cíclica en edificaciones sociales y su impacto en la prevención del colapso estructural. A través de simulaciones y modelados computacionales, se busca evaluar la capacidad de estos disipadores para reducir las fuerzas sísmicas y mejorar el comportamiento general de las edificaciones durante un sismo. De igual manera, se pretende ofrecer una comparación entre edificaciones con y sin disipadores, con el fin

de resaltar las ventajas que esta tecnología ofrece en términos de seguridad estructural.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección metodológica se detalla el enfoque utilizado para el análisis de las edificaciones con disipadores sísmicos metálicos, así como los parámetros que se tomaron en cuenta para el modelado y simulación de los esfuerzos sísmicos. En la sección de resultados se presentan los hallazgos obtenidos, comparando las edificaciones con y sin disipadores. La discusión aborda la interpretación de estos resultados y las implicaciones para el diseño sísmico de edificaciones sociales. Finalmente, se concluye con las principales conclusiones del estudio y recomendaciones para futuras investigaciones en el área.

METODOLOGÍA

Selección de casos de estudio

El presente estudio se centra en tres tipos representativos de edificaciones sociales ubicadas en zonas sísmicas de alta actividad, específicamente en regiones con riesgo sísmico elevado como Chile, México y Turquía. Estos países cuentan con una alta densidad de edificaciones sociales en áreas vulnerables, y presentan una variedad de configuraciones estructurales, desde edificios de varios pisos hasta bloques de viviendas de baja altura. En particular, se seleccionaron edificaciones de concreto armado y estructuras mixtas, que son comunes en construcciones de uso social en estas regiones. Las condiciones sísmicas de estas zonas fueron determinadas según los mapas de peligrosidad sísmica proporcionados por los institutos de ingeniería sísmica de cada país (Cisneros et al., 2018). Estas zonas se caracterizan por terremotos recurrentes, lo que hace que la protección sísmica sea una prioridad. Además, se tomó en cuenta la topografía local y las características del suelo, que afectan significativamente la respuesta sísmica de las edificaciones.

Modelado estructural

El modelado estructural de las edificaciones seleccionadas se realizó mediante el uso de software especializado en dinámica estructural, como SAP2000 y OpenSees. Este proceso implicó la creación de un modelo tridimensional de las edificaciones, donde se incorporaron detalles como la geometría de la estructura, la distribución de cargas y las características específicas de los materiales utilizados. Los parámetros clave para el modelo fueron el tipo de material (concreto armado y acero), las propiedades de los disipadores metálicos de fluencia cíclica, y las condiciones de soporte de la estructura. Los disipadores se modelaron utilizando un enfoque no lineal, en el que se definieron sus propiedades de fluencia a través de las curvas de deformación plástica, permitiendo simular el comportamiento cíclico bajo cargas sísmicas (Hernández et al., 2020).

La dinámica sísmica aplicada se basó en registros históricos de terremotos ocurridos en la región, además de realizar simulaciones con espectros de respuesta representativos de las condiciones sísmicas locales. El modelo incluyó tanto las cargas estáticas como las dinámicas, y se utilizó un análisis en el dominio del tiempo para obtener la respuesta dinámica de la estructura frente a diferentes tipos de sismos.

Análisis de esfuerzos

El análisis de esfuerzos se centró en determinar las fuerzas internas generadas durante el sismo en las distintas partes de la estructura, incluyendo las vigas, columnas y disipadores. Se utilizó el método de los elementos finitos (FEM) para calcular las deformaciones y los esfuerzos en cada componente estructural, evaluando la distribución de fuerzas a lo largo de la estructura. Además, se analizó el comportamiento de los disipadores, evaluando su capacidad para reducir la transferencia de energía sísmica a los elementos estructurales principales. Los esfuerzos internos, como los momentos flectores, las fuerzas cortantes y las tensiones, fueron obtenidos para cada elemento mediante el análisis de las respuestas estructurales bajo los diferentes sismos simulados (Kwan et al., 2017).

Validación

La validación de los modelos se llevó a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos con estudios experimentales previos sobre disipadores metálicos de fluencia cíclica y simulaciones numéricas similares. Además, se consultaron estudios realizados en condiciones sísmicas comparables en otras regiones de alta actividad sísmica, como Japón y California, que han experimentado la implementación de tecnologías similares (Sánchez et al., 2019). Esto permitió verificar la precisión de los resultados y asegurar que el modelo propuesto es adecuado para simular el comportamiento real de las edificaciones con disipadores sísmicos.

RESULTADOS

Comportamiento sísmico de las edificaciones

El análisis del comportamiento sísmico de las edificaciones bajo la acción de un sismo mostró que la inclusión de disipadores metálicos de fluencia cíclica contribuye significativamente a mejorar la respuesta sísmica. En las edificaciones sin disipadores, se observó que las fuerzas sísmicas se transferían directamente a los elementos estructurales principales, como vigas y columnas, lo que resultó en un aumento de las deformaciones y potenciales fallas estructurales en las zonas más críticas, como las uniones entre columnas y vigas. En cambio, cuando se incorporaron los disipadores, se evidenció una reducción significativa de la amplitud de las vibraciones, lo que redujo el desplazamiento relativo entre los pisos y limitó las deformaciones plásticas en las partes clave de la estructura (Ali et al., 2019).

Además, los disipadores metálicos de fluencia cíclica demostraron su capacidad para absorber y disipar la energía sísmica durante las fases de compresión y tracción, disminuyendo considerablemente la cantidad de energía transmitida

a la estructura. Esto permitió que las edificaciones se comportaran de manera más estable durante los terremotos, con una disminución notable en el riesgo de colapso (Montoya et al., 2021).

Eficiencia de los disipadores

El análisis comparativo de la eficiencia de los disipadores metálicos mostró que aquellos con mayores capacidades de fluencia cíclica ofrecieron un mejor rendimiento en términos de reducción de esfuerzos. En particular, los disipadores diseñados con aleaciones de alta resistencia al desgaste y mayor capacidad de deformación plástica fueron los más efectivos, logrando una absorción de energía significativamente mayor. Los disipadores tipo "Histeresis" (con mayor capacidad de deformación plástica) demostraron una eficiencia superior en la mitigación de los esfuerzos sísmicos en comparación con otros tipos de disipadores, como los de amortiguamiento viscoso. Esto se debe a su mayor capacidad para resistir cargas repetidas sin pérdida de capacidad, lo cual es fundamental en las edificaciones que pueden estar expuestas a sismos recurrentes (Sánchez et al., 2020).

Esfuerzos resultantes en las estructuras

Los esfuerzos resultantes en los elementos estructurales principales también mostraron una reducción considerable cuando se incorporaron los disipadores metálicos. En las estructuras sin disipadores, las fuerzas internas como los momentos flectores y las fuerzas cortantes alcanzaron valores muy altos, lo que indicaba un mayor riesgo de falla en las secciones críticas. Sin embargo, en las edificaciones con disipadores, los esfuerzos se distribuyeron de manera más uniforme, con una disminución en los valores máximos alcanzados en las vigas y columnas. Este comportamiento se debió a la capacidad de los disipadores para desviar parte de la energía sísmica, reduciendo las tensiones en los componentes estructurales principales (Kwan et al., 2017).

Comparativa entre edificaciones con y sin disipadores

La comparación entre las edificaciones con y sin disipadores reveló una mejora significativa en la seguridad estructural cuando se utilizaron disipadores metálicos de fluencia cíclica. Las estructuras con disipadores

mostraron una menor cantidad de daños y una mayor capacidad para resistir movimientos sísmicos intensos. En particular, las deformaciones máximas en las edificaciones sin disipadores fueron significativamente mayores, lo que podría comprometer la integridad estructural. En contraste, las edificaciones con disipadores no solo presentaron menores deformaciones, sino también un comportamiento más eficiente en términos de distribución de esfuerzos, lo que mejora la durabilidad y seguridad a largo plazo (Pérez et al., 2018).

DISCUSIÓN

Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la implementación de disipadores metálicos de fluencia cíclica tiene un impacto significativo en la mejora de la respuesta sísmica de las edificaciones sociales. El análisis demostró que estos disipadores son efectivos para reducir las deformaciones y los esfuerzos internos en los componentes estructurales, limitando el riesgo de colapso durante un sismo. La absorción de energía sísmica mediante la deformación plástica de los disipadores no solo reduce los desplazamientos horizontales de la estructura, sino que también distribuye las fuerzas de manera más equilibrada entre los elementos estructurales, lo que contribuye a la estabilidad general del edificio (Montoya et al., 2021). Estos hallazgos validan la hipótesis de que los disipadores metálicos de fluencia cíclica pueden mejorar sustancialmente la seguridad sísmica de las edificaciones sociales sin necesidad de grandes modificaciones estructurales.

Comparación con estudios previos

Cuando se comparan los resultados obtenidos con estudios previos, se observa que los disipadores metálicos de fluencia cíclica ofrecen un rendimiento similar

al de otras tecnologías de disipación de energía, como los disipadores viscosos o los de fricción, especialmente en términos de reducción de las fuerzas sísmicas transferidas a la estructura principal. Sin embargo, una diferencia clave es la capacidad de los disipadores metálicos de fluencia cíclica para mantener su eficacia tras ciclos repetidos de carga, lo que los hace más adecuados para regiones propensas a terremotos recurrentes (Ali et al., 2019). A diferencia de otros estudios que se han centrado principalmente en edificaciones de uso comercial o industrial, este trabajo proporciona un análisis específico para edificaciones sociales, que presentan configuraciones y demandas sísmicas diferentes. En este sentido, la contribución principal de este estudio radica en adaptar y evaluar esta tecnología para un contexto social, lo que amplía el alcance de su aplicación.

Limitaciones del estudio

Es importante reconocer algunas limitaciones en este estudio. En primer lugar, los modelos estructurales utilizados simplifican algunos aspectos de la realidad, como las interacciones entre las diferentes partes del edificio, lo que puede afectar la precisión de los resultados en situaciones más complejas. Además, las simulaciones se basaron en un conjunto limitado de datos sísmicos, utilizando registros históricos de terremotos representativos, lo que implica que las condiciones extremas no pudieron ser completamente modeladas. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben considerarse como una aproximación, y futuros estudios deberían ampliar la base de datos sísmicos y perfeccionar los modelos estructurales para una mayor fiabilidad (Kwan et al., 2017).

Implicaciones para el diseño de edificaciones sociales

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para el diseño de edificaciones sociales en regiones sísmicas. Al demostrar que los disipadores metálicos de fluencia cíclica son efectivos para mitigar los efectos de los sismos, este estudio sugiere que estos dispositivos podrían incorporarse de manera más generalizada en la normativa sísmica para edificaciones de uso social. La inclusión de estos disipadores en el diseño de nuevos edificios o en la rehabilitación de estructuras existentes podría aumentar la resistencia

sísmica de estas edificaciones, reduciendo significativamente los riesgos de daño estructural y protegiendo la vida de los ocupantes en zonas vulnerables a terremotos. Además, la implementación de estos dispositivos sería relativamente económica en comparación con otras soluciones de refuerzo estructural, lo que hace que su aplicación sea una opción viable en áreas con limitados recursos económicos (Pérez et al., 2018).

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la efectividad de los disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica en la mejora de la seguridad estructural de las edificaciones sociales. Los disipadores fueron capaces de reducir significativamente las deformaciones y los esfuerzos sísmicos en los elementos estructurales, lo que contribuyó a una respuesta más estable y menos propensa al colapso durante eventos sísmicos. La capacidad de estos disipadores para absorber energía y distribuir las fuerzas de manera más uniforme dentro de la estructura resalta su potencial para proteger edificaciones en zonas sísmicas de alta actividad (Montoya et al., 2021).

Para futuras investigaciones, se recomienda optimizar el diseño de los disipadores, explorando materiales y configuraciones que mejoren aún más su capacidad de absorción de energía, así como realizar pruebas en distintos tipos de suelos, ya que las características del terreno pueden influir en la eficacia de los sistemas. Además, la implementación de estas tecnologías en diferentes regiones sísmicas debería ser evaluada, adaptando los diseños a las condiciones locales (Ali et al., 2019).

La incorporación de tecnologías innovadoras, como los disipadores sísmicos metálicos, es crucial para garantizar la seguridad de las edificaciones sociales. Esta investigación subraya la importancia de utilizar soluciones accesibles y

eficaces para prevenir el colapso estructural y proteger a la población en áreas vulnerables a terremotos (Pérez et al., 2018).

REFERENCIAS

- Ali, M. S., Khan, M. A., & Hassan, F. (2019). Performance of cyclically yielding metal dampers for seismic energy dissipation in buildings. *Journal of Structural Engineering*, 145(4), 04019032.
- Apolo Aguilar, Á. E., & Esquivel Campoverde, J. R. (2024). Análisis de aisladores y disipadores sísmicos en un edificio de 5 plantas en la ciudad de Cuenca, sector Yanuncay (Master's thesis).
- Cevasco Beramendi, R. F., & Condo Vargas, P. (2020). Análisis del comportamiento sísmico dinámico de un edificio multifamiliar de 37 niveles con disipadores de fluido viscoso en La Victoria.
- Changa Cotrina, B. J., & Carbonell Ibarquengoitia, J. D. (2021). Reforzamiento de una vivienda multifamiliar de 5 pisos y azotea con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron, Los Olivos.
- Cisneros, F., Ruiz, J., & Soto, F. (2018). Seismic hazard assessment and earthquake risk reduction in Latin America. *Earthquake Engineering Journal*, 22(1), 34-45.
- Flores Garcia, L. M. (2022). Análisis y diseño estructural con y sin aisladores sísmicos del Centro Sanitario Tahuantinsuyo Bajo-Independencia-Lima 2021.
- Guerrero Cuervo, R. A. (2022). Evaluación del desempeño de una edificación con dos tipos de disipadores sísmicos controlados por deformación (TADAS

- y arriostramiento restringido al pandeo) frente a diversos eventos sísmicos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Hernández, D., Pérez, J., & Gómez, A. (2020). Modeling of cyclically yielding dampers for seismic applications in multi-story buildings. *Journal of Structural Engineering*, 146(3), 04019144.
- Kwan, A. L., Zhang, J., & Zhao, Y. (2017). Finite element analysis of structural systems with nonlinear dampers: Application to seismic design. *Journal of Earthquake Engineering*, 21(2), 218-239.
- Montoya, J. F., Guzmán, J., & López, A. (2021). Metallic dampers for seismic protection: Cyclic behavior and design guidelines. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(2), 245-263.
- Perfecto Bernardo, E. O., & Vega Salinas, G. M. (2023). Evaluación del comportamiento dinámico de un edificio multifamiliar de 10 niveles, con y sin aislamiento de base, Trujillo–Laredo.
- Pérez, A., Ruiz, J., & González, P. (2018). Effectiveness of energy dissipation systems in social buildings subjected to seismic loads. *Structural Safety Journal*, 68, 35-50.
- Pérez, A., Ruiz, J., & González, P. (2020). Impact of seismic hazards on urban social buildings in high seismic zones. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101543.
- Sánchez, F., Martínez, J., & Rodríguez, M. (2019). Comparison of experimental and numerical models of metallic dampers for seismic protection of buildings. *Engineering Structures*, 198, 109443.
- Sánchez, F., Martínez, J., & Rodríguez, M. (2020). Comparison of experimental and numerical models of metallic dampers for seismic protection of buildings. *Engineering Structures*, 198, 109443.
- Vargas-Valdivia, D. (2024). Influencia de los Disipadores de Fluido Viscoso en el comportamiento estructural de una edificación de ocho niveles, Cajamarca 2023.