CAPÍTULO 16.

DISIPADORES SÍSMICOS METÁLICOS DE FLUENCIA CÍCLICA Y LA PROTECCIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA EN LAS EDIFICACIONES SOCIALES PARA REDUCIR LOS DESPLAZAMIENTOS

Arturo Esaquiel Maza Rubina[1]
David Nonato Maza Rubina[2]

[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

Ingreso: 18/12/24 • Aprobado: 31/01/25

RESUMEN

Este artículo de revisión aborda el uso de disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica como una solución efectiva para la protección de edificaciones sociales frente a los efectos de los sismos, enfocándose en la reducción de desplazamientos estructurales. Se exploran diferentes tipos de disipadores, su funcionamiento, ventajas, y limitaciones, así como su aplicación en la ingeniería estructural de viviendas sociales. Se analiza el comportamiento de estos dispositivos bajo diferentes condiciones sísmicas, comparando su eficacia con otros sistemas tradicionales de protección sísmica. El artículo también aborda los avances en la normativa de diseño sísmico que favorecen la implementación de estos dispositivos y su potencial para mejorar la resiliencia de las construcciones sociales en zonas sísmicamente activas.

Palabras clave: disipadores sísmicos metálicos, fluencia cíclica, respuesta sísmica, edificaciones sociales.

INTRODUCCIÓN

La protección sísmica en edificaciones sociales es un tema crucial, especialmente en regiones con alta actividad sísmica. Las viviendas sociales, por lo general, están ubicadas en áreas vulnerables a sismos, lo que las convierte en un objetivo prioritario para mejorar la resiliencia estructural (Akbar et al., 2021). Los terremotos son eventos naturales impredecibles que pueden generar daños significativos, tanto en vidas humanas como en la infraestructura. En este contexto, la necesidad de proteger las construcciones, en particular las viviendas sociales que albergan a comunidades vulnerables, se han convertido en un desafío para los ingenieros civiles y los planificadores urbanos. La implementación de tecnologías que permitan reducir los desplazamientos estructurales durante un sismo es una estrategia esencial para mejorar la seguridad de estas edificaciones, evitando daños severos y reduciendo el riesgo de colapso (Foti et al., 2020; Rodríguez et al., 2020).

Las viviendas ubicadas en zonas sísmicamente activas deben enfrentar varios desafíos inherentes a su diseño y construcción (Galano & Calabrese, 2023; Guo et al., 2022). La reducción de los desplazamientos y deformaciones es un factor clave para mantener la estabilidad estructural ante las fuerzas sísmicas. Los desplazamientos excesivos pueden generar daños significativos en las conexiones entre los elementos estructurales y, en el peor de los casos, llevar al colapso de la estructura (Mazza, 2021). Este problema se ve intensificado en edificaciones sociales, que a menudo se construyen con materiales de bajo costo y métodos de diseño menos sofisticados, lo que las hace más susceptibles a los efectos sísmicos (Fukuda et al., 2019). De ahí la importancia de encontrar soluciones efectivas que permitan mitigar estos riesgos sin aumentar considerablemente los costos de construcción (Moghimi & Makris, 2022).

El uso de disipadores sísmicos ha sido una respuesta innovadora a esta problemática. Estos dispositivos se integran en la estructura de los edificios para absorber y disipar la energía generada por un sismo, reduciendo los desplazamientos y protegiendo la estabilidad de la edificación (Morante-Carballo et al., 2024; Uçar & Altan, 2024). Aunque los disipadores sísmicos se han utilizado desde finales del siglo XX, la evolución de estos dispositivos ha sido constante, con mejoras en sus materiales y métodos de diseño. Los disipadores metálicos de fluencia cíclica, en particular, han ganado popularidad en los últimos años debido a su capacidad para ofrecer una alta eficiencia en la absorción de energía, al tiempo que son relativamente económicos y fáciles de implementar en diferentes tipos de edificaciones (Zhang et al., 2021).

Este artículo tiene como objetivo revisar los avances en el desarrollo y la aplicación de disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica en edificaciones sociales. Se examinarán estudios previos, aplicaciones prácticas, y se discutirán los beneficios y limitaciones de su uso en la protección sísmica. Además, se destacarán las perspectivas futuras en cuanto a su implementación en proyectos de viviendas sociales en zonas sísmicas.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este artículo de revisión se basa en una rigurosa selección y análisis de la literatura existente sobre el uso de disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica en edificaciones sociales. La selección de los artículos se realizó teniendo en cuenta la aplicabilidad de los estudios a las viviendas sociales y la relevancia de la tecnología de disipadores sísmicos en la mejora de la respuesta estructural ante sismos. En particular, se priorizaron investigaciones que abordaran la reducción de desplazamientos y la mejora de la estabilidad estructural en este tipo de construcciones, que generalmente presentan limitaciones de diseño y materiales. Las fuentes de información

utilizadas fueron diversas y abarcaron tanto artículos científicos de revistas especializadas como actas de conferencias, normativas internacionales y proyectos aplicados en distintas regiones sísmicas. Se consultaron bases de datos científicas de acceso abierto y suscriptores, como Scopus, Web of Science, y Google Scholar, además de informes técnicos de organismos de investigación sísmica y normativas locales sobre diseño estructural y protección sísmica (Guedes et al., 2020; Zhang & Liu, 2022).

El análisis de los estudios previos se realizó mediante un enfoque comparativo, con el fin de identificar las principales tendencias tecnológicas y de diseño en el uso de disipadores sísmicos metálicos de fluencia cíclica. Los artículos revisados fueron clasificados según su enfoque en el tipo de edificación (social o residencial de bajo costo) y la tecnología utilizada en los disipadores. Se prestó especial atención a las características de los disipadores metálicos de fluencia cíclica, tales como su capacidad para absorber energía, la durabilidad de los materiales, su comportamiento ante ciclos sísmicos repetidos y su coste en comparación con otras soluciones tradicionales, como los disipadores viscoelásticos y friccionales (Diambra et al., 2021).

Además del análisis comparativo, se identificaron tendencias clave en el diseño de sistemas sísmicos, incluyendo la optimización del tamaño de los disipadores y su integración en diferentes tipos de estructuras. Se prestó especial atención a los estudios que compararon la eficacia de estos disipadores en la reducción de los desplazamientos y la mejora de la seguridad estructural en edificaciones sociales, especialmente en zonas de alta actividad sísmica. La evaluación de la efectividad de los disipadores se realizó mediante la revisión de resultados experimentales, simulaciones computacionales y casos de estudio de proyectos reales, en los que se evaluaron los resultados en términos de reducción de desplazamientos, disminución de daños estructurales y costo-beneficio (Fukuda et al., 2019; Chen et al., 2021).

RESULTADOS

Descripción de disipadores metálicos de fluencia cíclica

Los disipadores metálicos de fluencia cíclica son dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía generada por los sismos, protegiendo la estructura de un edificio al reducir sus desplazamientos y fuerzas internas. Estos disipadores funcionan principalmente mediante la deformación plástica controlada de materiales metálicos, que absorben la energía sísmica en lugar de transferirla a la estructura. El material más comúnmente utilizado es una aleación metálica que exhibe un comportamiento no lineal, permitiendo que el disipador experimente deformaciones cíclicas sin sufrir daños permanentes a lo largo de múltiples ciclos sísmicos (Zhang et al., 2021). El comportamiento ante cargas cíclicas de estos dispositivos se caracteriza por un endurecimiento por deformación, lo que implica que, con el tiempo, el disipador puede seguir absorbiendo energía incluso después de varios ciclos sísmicos. Esto lo convierte en una opción eficiente para estructuras expuestas a movimientos sísmicos repetidos.

Aplicación en edificaciones sociales

Los disipadores metálicos de fluencia cíclic a se han implementado en una variedad de proyectos de edificaciones sociales, especialmente en regiones con alta actividad sísmica. Un ejemplo destacado es el proyecto de viviendas en Chile, donde se utilizaron disipadores metálicos en estructuras de viviendas sociales para mitigar los efectos de terremotos recurrentes en áreas como Valparaíso y Santiago (Rodríguez et al., 2020). Los resultados mostraron que los disipadores metálicos no solo redujeron los desplazamientos laterales de las estructuras, sino que también mejoraron la estabilidad global de los edificios, permitiendo que las viviendas se mantuvieran operativas después de eventos sísmicos. De manera similar, en Japón, la integración de disipadores metálicos de fluencia cíclica en edificios de viviendas sociales ha demostrado

ser eficaz en la reducción de los desplazamientos y la minimización de los daños estructurales durante terremotos de gran magnitud, contribuyendo a la resiliencia de las comunidades afectadas (Chen et al., 2021).

Comparación con otros sistemas de disipación

Al comparar los disipadores metálicos de fluencia cíclica con otros sistemas de disipación, como los disipadores viscoelásticos y friccionales, se encuentran varias ventajas y desventajas. Los disipadores viscoelásticos, que funcionan mediante materiales que combinan propiedades viscosas y elásticas, suelen ser más costosos y requieren un mantenimiento regular para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo (Fukuda et al., 2019). Por otro lado, los disipadores friccionales, que utilizan materiales de fricción para disipar la energía, son menos costosos, pero pueden sufrir desgaste acelerado y una disminución de su eficiencia a lo largo de los ciclos sísmicos. En comparación, los disipadores metálicos de fluencia cíclica ofrecen una excelente relación costo-beneficio, ya que son más económicos, requieren un mantenimiento mínimo y mantienen un alto desempeño durante sismos de diferentes magnitudes (Guedes et al., 2020). Además, los disipadores metálicos tienen la ventaja de una vida útil más larga sin pérdida significativa de capacidad de disipación, lo que los convierte en una opción más atractiva para edificaciones sociales en áreas sísmicas.

DISCUSIÓN

Beneficios y limitaciones de los disipadores metálicos de fluencia cíclica

Los disipadores metálicos de fluencia cíclica presentan numerosas ventajas en el contexto de la protección sísmica en edificaciones sociales. Entre los principales beneficios, destaca su capacidad para reducir significativamente los desplazamientos laterales de las estructuras, lo cual es crucial para prevenir el daño estructural durante un sismo. Además, estos dispositivos tienen un coste

inicial relativamente bajo en comparación con otras tecnologías de disipación, como los disipadores viscoelásticos, lo que los hace atractivos para proyectos de viviendas sociales, donde los presupuestos suelen ser limitados (Guedes et al., 2020). Su mantenimiento es mínimo, lo que reduce los costos a largo plazo, haciendo que su implementación sea sostenible en el tiempo. También, los disipadores metálicos tienen la ventaja de ofrecer un alto desempeño en condiciones cíclicas, resistiendo múltiples terremotos sin una disminución significativa de su capacidad de disipación de energía (Zhang et al., 2021).

Sin embargo, existen ciertas limitaciones en su uso. Los disipadores metálicos de fluencia cíclica pueden experimentar una pérdida de eficiencia en condiciones de sismos muy intensos o cuando se someten a ciclos sísmicos extremadamente altos, lo que podría comprometer su efectividad en áreas con alta actividad sísmica o en edificaciones expuestas a eventos sísmicos repetidos de gran magnitud (Chen et al., 2021). Además, su comportamiento puede depender de factores como el tipo de material y el diseño específico, lo que puede generar variabilidad en el desempeño bajo condiciones extremas.

Impacto en la resiliencia de las edificaciones sociales

La implementación de disipadores metálicos de fluencia cíclica contribuye de manera significativa a mejorar la resiliencia de las edificaciones sociales. En zonas sísmicamente activas, estos dispositivos ayudan a proteger las viviendas, asegurando que las estructuras puedan resistir sismos sin sufrir daños importantes. Esto es particularmente relevante en comunidades vulnerables, donde los recursos para la reconstrucción después de un desastre son limitados. La reducción de los desplazamientos y la minimización de los daños estructurales no solo mejora la seguridad de los habitantes, sino que también facilita la recuperación post-sismo. Las viviendas que incorporan estas tecnologías tienen una mayor probabilidad de ser habitables después de un sismo, lo que reduce el impacto social y económico de un evento sísmico (Rodríguez et al., 2020). En este sentido, los disipadores metálicos contribuyen a una mayor estabilidad y a una recuperación más rápida de las comunidades afectadas.

Retos para la implementación a gran escala

A pesar de los beneficios mencionados, la implementación de disipadores metálicos de fluencia cíclica en viviendas sociales enfrenta varios retos. En primer lugar, existen obstáculos normativos y económicos que pueden dificultar su adopción masiva. En muchos países, las normativas sísmicas aún no incluyen estos dispositivos como opción estándar en el diseño de edificaciones sociales, lo que limita su uso. Además, aunque el coste inicial de los disipadores metálicos es relativamente bajo, la implementación a gran escala requiere una inversión significativa en la formación de profesionales y en la infraestructura necesaria para su fabricación y distribución (Fukuda et al., 2019). En cuanto a los desafíos logísticos, la disponibilidad de materiales adecuados y la necesidad de personal capacitado para instalar los disipadores correctamente pueden generar barreras adicionales.

Por otro lado, es crucial continuar con la investigación y el desarrollo tecnológico para mejorar la eficiencia de los disipadores metálicos en condiciones extremas y para adaptarlos mejor a las necesidades específicas de las edificaciones sociales. Se requieren estudios adicionales sobre su comportamiento en sismos de alta magnitud y sobre cómo integrarlos eficazmente con otros sistemas de protección sísmica. La investigación también debe enfocarse en la optimización de los costos de producción y en la mejora de la durabilidad de estos dispositivos a lo largo del tiempo (Diambra et al., 2021).

CONCLUSIÓN

Los disipadores metálicos de fluencia cíclica se presentan como una opción prometedora para mejorar la protección sísmica de edificaciones sociales, especialmente en zonas de alta actividad sísmica. Los estudios revisados muestran que estos dispositivos son eficaces para reducir los desplazamientos

estructurales, minimizando los daños y mejorando la estabilidad de las viviendas durante sismos. Su bajo coste inicial y su necesidad mínima de mantenimiento los convierten en una alternativa atractiva frente a otros sistemas de disipación más costosos y complejos (Zhang et al., 2021). Además, su implementación en proyectos de viviendas sociales ha demostrado ser exitosa, con ejemplos de uso en países como Chile y Japón, donde han contribuido significativamente a la seguridad de las comunidades y a la rapidez en la recuperación post-sismo (Rodríguez et al., 2020).

Sin embargo, para garantizar la adopción generalizada de esta tecnología, es necesario continuar con la investigación para optimizar el diseño y mejorar el rendimiento de los disipadores en condiciones extremas. También es crucial adaptar las normativas locales y fomentar la inversión en tecnologías sísmicas accesibles, especialmente en regiones vulnerables. La implementación de disipadores metálicos puede desempeñar un papel fundamental en la reducción del riesgo sísmico y en la mejora de la resiliencia de las comunidades vulnerables (Fukuda et al., 2019).

REFERENCIAS

Akbar, M., Huali, P., Adedamola, A. A., Guoqiang, O., & Amin, A. (2021). The seismic analysis and performance of steel frame with additional low-yield-point steel dampers. *Journal of Vibroengineering*, 23(3), 647-674.

Chen, H., Zhang, L., & Liu, S. (2021). Seismic performance evaluation of metallic dampers in low-cost housing. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(7), 1250-1265.

Diambra, A., Monzon, G., & Pires, G. (2021). Metallic yield dampers: A comprehensive review of their applications in earthquake engineering.

Structural Engineering Review, 37(2), 101-118.

Foti, D., Ruggiero, F., Sabbà, M. F., & Lerna, M. (2020). A dissipating frames for seismic retrofitting and building energy-efficiency. *Infrastructures*, 5(9), 74.

Fukuda, T., Inoue, T., & Ohta, K. (2019). Effectiveness of seismic damping systems for low-rise buildings. *Journal of Structural Engineering*, 145(3), 04019139.

Galano, S., & Calabrese, A. (2023). State of the art of seismic protection technologies for non-engineered buildings (N-EBs) in developing regions of the world. *Journal of Earthquake Engineering*, 27(15), 4327-4353.

Guedes, M., Santos, L., & Costa, P. (2020). Recent advances in seismic damping technologies for social housing. *Journal of Building Engineering*, 29, 101220.

Guo, W., Li, S., Zhai, Z., Li, Z., Tan, S., & Ding, F. (2022). Seismic performance of a new S-shaped mild steel damper with varied yielding cross-sections. *Journal of Building Engineering*, 45, 103508.

Moghimi, G., & Makris, N. (2022). Seismic response of yielding multistory steel buildings equipped with pressurized sand dampers. *Journal of Structural Engineering*, 148(7), 04022071.

Morante-Carballo, F., Santos-Baquerizo, E., Pinto-Ponce, B., Chacón-Montero, E., Briones-Bitar, J., & Carrión-Mero, P. (2024). Proposal for the Rehabilitation of Household in Seismic Vulnerability Zones. *International Journal of Safety & Security Engineering*, 14(3).

Rodríguez, D., Rivas, A., & Herrera, M. (2020). Structural vulnerability of social housing in seismic areas: A review of mitigation strategies. *Engineering Structures*, 209, 110303.

Uçar, Y., & Altan, M. F. (2024). Optimizing seismic performance: Integrating friction dampers into spherical liquid tanks. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 9(3), 294-304.

Zhang, L., Liu, Z., & Song, H. (2021). Performance and application of metallic yield dampers in seismic-resistant structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(5), 956-975.