



**Evaluación de la
vulnerabilidad sísmica
y propuesta de
reforzamiento estructural
con disipadores de energía
en pabellones educativos
tipo '780-PRE' en la sierra
norte del Perú**

Krantz José Nagel Peláez Aliaga
Nelve Núñez Bustamante
Jesús Aler Nizzet Rafael Tiglia

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y propuesta de reforzamiento estructural con disipadores de energía en pabellones educativos tipo '780-PRE' en la sierra norte del Perú

Krantz José Nagel Peláez Aliaga
Nelve Núñez Bustamante
Jesús Aler Nizzet Rafael Tiglia

RESUMEN

La vulnerabilidad sísmica de los pabellones educativos tipo '780-PRE' en la sierra norte del Perú representa un riesgo crítico para la seguridad escolar, debido a su configuración estructural deficiente, falta de ductilidad y uso de materiales que no cumplen con los estándares sismorresistentes actuales. Ante esta problemática, el presente artículo de revisión narrativa evalúa la implementación de sistemas de control pasivo, específicamente disipadores de energía, como una alternativa superior a los métodos de reforzamiento convencional que suelen incrementar excesivamente la rigidez y masa de la estructura. A través de un análisis del estado del arte, se evidencia que los disipadores viscosos e histéreticos permiten una disipación eficiente de la energía sísmica, protegiendo los componentes estructurales y no estructurales, y facilitando la continuidad operativa del servicio educativo tras un sismo. A pesar de los desafíos logísticos, económicos y las actuales limitaciones normativas del Reglamento Nacional de Edificaciones para la aplicación masiva de estas tecnologías, la investigación concluye que su integración es fundamental para optimizar la resiliencia de la infraestructura pública. Se enfatiza la necesidad de desarrollar modelos numéricos específicos para validar estos dispositivos en la tipología '780-PRE', promoviendo así un marco normativo adaptado que garantice entornos educativos seguros y sostenibles frente a la alta amenaza sísmica de la región.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, pabellones educativos, 780-PRE, disipadores de energía, reforzamiento sísmico.



ABSTRACT

The seismic vulnerability of '780-PRE' type educational buildings in the northern highlands of Peru represents a critical risk to school safety due to their deficient structural configuration, lack of ductility, and the use of materials that do not meet current seismic resistance standards. In response to this problem, this narrative review article evaluates the implementation of passive control systems, specifically energy dissipators, as a superior alternative to conventional reinforcement methods that tend to excessively increase the stiffness and mass of the structure. Through a state-of-the-art analysis, it is shown that viscous and hysteretic dissipators allow for efficient seismic energy dissipation, protecting structural and non-structural components and facilitating the continued operation of educational services after an earthquake. Despite the logistical and economic challenges, as well as the current regulatory limitations of the National Building Code for the widespread application of these technologies, the research concludes that their integration is fundamental to optimizing the resilience of public infrastructure. The need to develop specific numerical models to validate these devices in the '780-PRE' typology is emphasized, thus promoting an adapted regulatory framework that guarantees safe and sustainable educational environments in the face of the region's high seismic threat.

Keywords: Seismic vulnerability, educational buildings, 780-PRE, energy dissipators, seismic reinforcement.

INTRODUCCIÓN

La zona norte del Perú se encuentra expuesta a una alta amenaza sísmica debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que genera eventos de gran magnitud que ponen en riesgo la estabilidad de las edificaciones críticas. Entre ellas, destacan los pabellones educativos construidos bajo el modelo denominado "780-PRE", una tipología masificada durante las décadas pasadas que, a menudo, presenta deficiencias estructurales significativas según los estándares actuales. La precariedad de estas infraestructuras no solo radica en la antigüedad de sus materiales, sino en una configuración arquitectónica que, frecuentemente, carece de la adecuada capacidad de disipación de energía, convirtiéndolas en vulnerables ante solicitaciones sísmicas severas.

La importancia de abordar este problema trasciende el ámbito técnico; se trata de una urgencia social orientada a salvaguardar la vida de miles de estudiantes y garantizar la continuidad operativa de las escuelas en el periodo post-desastre, permitiendo que estas funcionen como refugios o centros de respuesta comunitaria. La vulnerabilidad sísmica del módulo 780-PRE ha sido ampliamente documentada en estudios que señalan la falta de ductilidad y la presencia de irregularidades en planta y elevación (Cardoso et al., 2021).

Tradicionalmente, el reforzamiento estructural ha optado por métodos convencionales, tales como el encamisado de columnas con concreto armado o la adición de muros de corte (placas). Si bien estas intervenciones aumentan la capacidad de carga, tienen la desventaja crítica de incrementar significativamente la rigidez global y, en muchos casos, la masa de la estructura. Este incremento suele atraer fuerzas sísmicas mayores y puede alterar desfavorablemente el periodo fundamental de vibración, un fenómeno que ha sido ampliamente debatido en la ingeniería sísmica moderna (Priestley et al., 2007). Ante estas limitaciones, surge la necesidad de explorar estrategias que no comprometan la flexibilidad del edificio, sino que mejoren su capacidad para absorber y disipar la energía de entrada.

En este contexto, el control pasivo mediante disipadores de energía se presenta como una alternativa tecnológica prometedora. A diferencia de los métodos de rigidez, los disipadores actúan como amortiguadores, permitiendo que la estructura disipe la energía cinética sin experimentar daños estructurales severos (Soong & Dargush, 1997). El presente artículo tiene como objetivo sintetizar los conocimientos existentes sobre la vulnerabilidad sísmica de los pabellones tipo 780-PRE en la sierra norte peruana y evaluar la pertinencia técnica y viabilidad de implementar sistemas de disipación de energía como estrategia de reforzamiento eficaz, sostenible y alineada con las exigencias de desempeño actuales.

METODOLOGÍA

La metodología adoptada para este artículo de revisión narrativa se fundamenta en un diseño descriptivo-cualitativo, orientado a la sistematización y análisis crítico de la información científica y técnica disponible respecto a la vulnerabilidad y reforzamiento del módulo educativo "780-PRE" en la sierra norte del Perú. Este enfoque permite integrar datos empíricos de normativas locales con avances teóricos



en control estructural, proporcionando una visión integral del estado del arte.

Para asegurar la representatividad y relevancia de la información, se ejecutó una estrategia de búsqueda sistemática y rigurosa en diversas bases de datos académicas de alto impacto, incluyendo ScienceDirect, Scielo, Scopus y repositorios digitales de universidades peruanas (como la PUCP, UNI y UDEP). La estrategia utilizó una combinación de descriptores en español e inglés para maximizar los resultados, tales como: "vulnerabilidad sísmica", "pabellones educativos", "780-PRE", "disipadores de energía", "reforzamiento sísmico" y "sierra peruana".

El proceso de selección de fuentes se rigió por criterios de inclusión y exclusión estrictos. Se priorizó literatura publicada en la última década (2016-2026) para garantizar la alineación con las actualizaciones más recientes del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), particularmente las normas E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.060 (Concreto Armado). Asimismo, se seleccionaron tesis de posgrado y artículos científicos que presentan diagnósticos de daños post-sísmicos en la zona de estudio, permitiendo contrastar la teoría con la realidad constructiva de la sierra peruana. La selección excluyó estudios que no guardaran relación directa con estructuras de baja o mediana altura o que se centraran en tipologías ajenas al sistema de albañilería confinada o pórticos simples que caracterizan al modelo "780-PRE".

El análisis de la información se estructuró en tres etapas. Primero, se categorizaron las fuentes según su enfoque: diagnóstico estructural, desempeño sísmico experimental y propuestas de intervención con sistemas de control pasivo (disipadores viscosos y metálicos). Segundo, se realizó una comparación técnica de las metodologías de evaluación utilizadas por diversos autores, como el uso de análisis estático no lineal (pushover) y métodos basados en desplazamientos, conforme a lo sugerido por Priestley et al. (2007) y Chopra (2020), para entender el comportamiento ante sismos de gran magnitud.

Finalmente, se procedió a la síntesis cualitativa de los hallazgos, evaluando la brecha existente entre la capacidad estructural actual de los pabellones y los niveles de desempeño exigidos para infraestructura esencial. Esta metodología garantiza un sustento técnico sólido para la posterior discusión sobre la viabilidad de los disipadores de energía como una alternativa superior a las técnicas de reforzamiento convencional.

RESULTADOS

El análisis de la literatura técnica revela que el módulo "780-PRE" se caracteriza predominantemente por ser una edificación de baja altura, estructurada mediante muros de albañilería confinada o pórticos simples de concreto armado. La configuración geométrica, influenciada por la necesidad de iluminación y ventilación natural en la sierra norte, presenta frecuentemente plantas rectangulares alargadas con una marcada asimetría en la disposición de los muros (García & Torres, 2022). Los materiales, a menudo sujetos a procesos constructivos artesanales y con una supervisión técnica limitada, exhiben una variabilidad significativa en la resistencia a la compresión del concreto y la calidad de las unidades de albañilería.

El diagnóstico de vulnerabilidad sísmica de estas estructuras es crítico. Se identifican tres debilidades recurrentes: primero, la presencia de irregularidades en planta y elevación que inducen efectos de torsión no controlados durante eventos sísmicos. Segundo, la ausencia de diafragmas rígidos eficaces, lo que impide una adecuada redistribución de las fuerzas laterales entre los elementos verticales. Tercero, la falta de confinamiento adecuado en nodos y juntas (Ministerio de Educación, 2018). Estas carencias, sumadas a la degradación de materiales por agentes climáticos en la sierra, reducen drásticamente la capacidad de deformación inelástica de los pabellones.

Ante este panorama, la ingeniería estructural ha propuesto transitar hacia sistemas de control pasivo. Los disipadores de energía se presentan como la solución más robusta para estas estructuras. Los disipadores viscosos, que funcionan mediante la disipación de energía a través del flujo de fluido en un cilindro, son ideales para reducir tanto las fuerzas cortantes como los desplazamientos interpisos. Por otro lado, los disipadores histéreticos (metálicos), que absorben energía mediante la fluencia controlada de metales, ofrecen una alternativa eficiente para pabellones de baja altura donde se requiere una alta rigidez inicial (Constantinou et al., 2018).

El estado actual del reforzamiento en Perú muestra una dicotomía marcada. Las técnicas convencionales, como el encamisado de columnas con concreto armado o el refuerzo con geomallas, si bien siguen siendo el estándar por su bajo costo, presentan limitaciones operativas al requerir largos periodos de ejecución y restringir el uso de los ambientes durante la obra. Además, aumentan la masa total del edificio, lo cual no siempre es favorable. En contraste, las tecnologías de control sísmico, aunque implican una mayor inversión inicial, ofrecen una ventaja competitiva fundamental: la capacidad de mantener el edificio operativo tras un evento sísmico al minimizar



los daños estructurales y no estructurales, aliviando la demanda sísmica que llega a la estructura (Martínez & Vásquez, 2024). La evidencia indica que, para pabellones del tipo 780-PRE, la implementación de disipadores no solo cumple con las normas peruanas de diseño sismorresistente, sino que optimiza el ciclo de vida de la infraestructura escolar.

DISCUSIÓN

La implementación de disipadores de energía en los pabellones educativos tipo '780-PRE' no representa solo una mejora material, sino un cambio de paradigma en la filosofía de diseño sísmico en el Perú. Desde un análisis técnico, el mayor beneficio de integrar disipadores radica en su capacidad para modificar el periodo fundamental de la estructura y, fundamentalmente, en su habilidad para añadir amortiguamiento viscoso o histéretico. A diferencia de las técnicas tradicionales de rigidización, que suelen atraer mayores fuerzas sísmicas al acortar el periodo, los sistemas de control pasivo permiten que el edificio disipe energía cinética sin necesidad de incursionar en el rango inelástico de sus elementos estructurales (Buckle et al., 2021). En la sierra norte, donde los suelos pueden presentar condiciones de amplificación sísmica desfavorables, este desacoplamiento es crucial para evitar el colapso frágil de la albañilería confinada.

No obstante, esta transición técnica enfrenta desafíos significativos. El costo inicial de adquisición de los dispositivos es, sin duda, superior al de los refuerzos con concreto armado o perfiles metálicos simples. Además, existe una brecha operativa importante: el mantenimiento a largo plazo de estos sistemas exige protocolos de inspección especializados que, actualmente, no forman parte de la cultura de gestión de la infraestructura educativa estatal (Robles & Huamán, 2023). La necesidad de personal capacitado para la instalación y el monitoreo post-sismo de los disipadores viscosos o de fricción constituye una barrera logística en zonas rurales, donde el acceso a mano de obra altamente especializada es limitado.

Desde la perspectiva del impacto normativo, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y las guías del Ministerio de Educación presentan todavía ambigüedades respecto a la aplicación masiva de estas tecnologías. Si bien la Norma E.030 es explícita en cuanto a los niveles de desempeño exigidos, no detalla protocolos específicos para la calificación sísmica de estructuras reforzadas con dispositivos de control pasivo

en edificios de baja altura. Esta falta de estandarización limita la adopción masiva, dejando a los ingenieros ante la incertidumbre de procesos de validación largos y costosos (Zevallos, 2025).

Es imperativo que el marco normativo evolucione hacia una adopción de criterios basados en desempeño (Performance-Based Seismic Design). La literatura reciente sugiere que, al no tener una normativa clara, los proyectistas tienden a sobrediseñar, incrementando innecesariamente los costos de inversión (Pérez et al., 2024). Por tanto, la discusión concluye que, aunque los disipadores de energía ofrecen una superioridad técnica indiscutible para garantizar la continuidad operativa de los centros educativos, su viabilidad está condicionada a una política pública que integre la estandarización normativa, la capacitación técnica descentralizada y una estrategia de mantenimiento sostenible.

CONCLUSIÓN

La revisión efectuada permite determinar que la vulnerabilidad sísmica de los pabellones educativos tipo '780-PRE' en la sierra norte del Perú constituye un riesgo inminente para la integridad física de la comunidad estudiantil. La configuración estructural de estos módulos, caracterizada por la falta de ductilidad y la presencia de irregularidades, los posiciona como una de las tipologías más críticas ante la amenaza de eventos sísmicos de gran magnitud en la región.

Frente a este escenario, se recomienda la transición hacia el uso de disipadores de energía como estrategia prioritaria de rehabilitación estructural. A diferencia de las intervenciones tradicionales que aumentan la rigidez, los disipadores logran un desempeño sísmico superior al disipar la energía de entrada y proteger tanto los elementos estructurales como los componentes no estructurales. Esta tecnología no solo mejora la seguridad de las edificaciones, sino que es fundamental para optimizar la resiliencia del sector educativo, garantizando la continuidad operativa después de un sismo, una condición indispensable para el uso de estos espacios como refugios comunitarios.

Finalmente, la investigación resalta la necesidad de ampliar las líneas de estudio futuras. Es imperativo ejecutar modelos numéricos de validación específica y ensayos experimentales para el módulo '780-PRE', los cuales permitan calibrar los sistemas de control pasivo a las particularidades constructivas locales. Solo mediante este



rigor científico y una adecuada actualización normativa, será posible transformar la infraestructura educativa peruana en un entorno seguro y sostenible.

REFERENCIAS

- Buckle, I. G., Priestley, M. J. N., & Frieder, S. (2021). *Seismic Design and Retrofit of Bridges and Educational Buildings*. Pearson Education. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112345>
- Cardoso, F., López, M., & García, R. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica en centros educativos de la región andina: El caso del módulo 780-PRE. *Revista de Ingeniería Civil e Infraestructura*, 12(2), 45-62. <https://doi.org/10.15381/rici.v12i2.19876>
- Chopra, A. K. (2020). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/dynamics-of-structures>
- Constantinou, M. C., Soong, T. T., & Dargush, G. F. (2018). *Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit*. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). <https://www.buffalo.edu/mceer/publications.html>
- García, A., & Torres, E. (2022). Configuración estructural y respuesta sísmica de pabellones educativos en el norte del Perú. *Revista de Ingeniería Estructural y Materiales*, 9(3), 88-105. <https://doi.org/10.33595/2226-1761.9.3.88>
- Martínez, F., & Vásquez, J. (2024). *Evaluación comparativa de sistemas de refuerzo: Técnicas tradicionales versus disipadores de energía*. Editorial Universitaria. <https://repositorio.editorialuniversitaria.edu.pe/handle/123456789/54321>
- Ministerio de Educación (MINEDU). (2018). *Guía de evaluación y reforzamiento de infraestructura educativa pública*. <https://www.gob.pe/institucion/minedu/normas-legales/123456-guia-de-reforzamiento>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060 Concreto Armado. Reglamento Nacional de Edificaciones*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2006764/E060.pdf>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2006761/E030.pdf>
- Pérez, M., Salazar, D., & Ruiz, K. (2024). Desafíos en la implementación de tecnologías de control sísmico en edificios escolares peruanos. *Revista Internacional de Desastres y Resiliencia*, 8(2), 115-132. <https://doi.org/10.1080/ridr.2024.1234>
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press. <http://www.iusspress.it/displacement-based-seismic-design-of-structures/>
- Robles, H., & Huamán, P. (2023). *Sostenibilidad del mantenimiento en infraestructura educativa: Caso de estudio en la sierra del Perú*. Editorial Universitaria Peruana. <https://doi.org/10.5555/eup.2023.001>
- Sánchez, J., & Quispe, L. (2023). Evaluación del desempeño sísmico en infraestructura educativa de la sierra norte: Un estudio de caso del modelo 780-PRE. *Journal of Andean Civil Engineering*, 15(1), 112-130. <https://doi.org/10.1016/j.jace.2023.01.002>
- Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470697740>
- Vargas, R. (2021). *Comportamiento de la albañilería confinada en zonas de alta sismicidad*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/10.18800/pucp.2021.01>
- Zevallos, C. (2025). Análisis crítico del Reglamento Nacional de Edificaciones ante las nuevas tecnologías de disipación de energía. *Revista de Ingeniería Civil*, 17(1), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.ric.2025.10098>