



**Revisión Bibliográfica: Análisis Por Desempeño Sísmico De Aisladores En La Base En
Edificios De Concreto Reforzado**

Jorge Leopoldo Triana Zarate

Daniel Alberto Díaz Morales

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesor

Carlos Alberto Riveros Jerez, Doctor (PhD) en ingeniera.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Triana Zarate & Díaz Morales, 2024)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Triana Zarate, J. L., & Díaz Morales, D. A. (2024). <i>Revisión bibliografía: Análisis por desempeño sísmico de aisladores en la base en edificios de concreto reforzado</i> . Trabajo de grado especialización. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte XI.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
Motivación	8
Objetivos	9
Introducción	10
Marco Teórico	13
Sistemas de aislamiento:	13
Aisladores Elastómeros	14
Aisladores de deslizamiento o fricción	15
Aisladores de base rodante	16
Metodología	18
Bases de datos y selección de literatura:	18
Parámetros de análisis:	18
Análisis de los resultados:	19
Limitaciones:	19
Estado del arte	20
Desempeño de Aisladores en la Base	22
Discusión	30
Conclusiones	31
Referencias	32

Lista de tablas

Tabla 1: Comparación aisladores sísmicos Fuente: Elaboración propia.....28

Lista de figuras

Figura 1: Partes del sistema de aislamiento. Fuente: Correa Avila, 2019.	14
Figura 2: Aislador de elastómero con núcleo de plomo (LRB). Fuente: Valerio Zacarias, 2015.	15
Figura 3: Aislador de tipo deslizante de péndulo de fricción (FPS). Fuente: Valerio Zacarias, 2015.	16
Figura 4: Aislador rodante tipo Roll N Cage. Fuente: Valerio Zacarias, 2015.	17
Figura 5: Cantidad de secciones de muros con elementos de borde. Fuente: Niño-Castaño et al., 2024.	21
Figura 6: Reducción de deriva en comparación a 4 diferentes aisladores. Fuente: Valerio Zacarias, 2015.	23
Figura 7: Cortante basal de un edificio fijo vs uno con aisladores. Fuente: Soriano Cacho, 2014.	24
Figura 8: Resultados de un edificio fijo vs 3 diseños de amortiguamiento en aisladores. Fuente: Hlaing y Saingam, 2023.	25
Figura 9: Resultados de un edificio fijo de 40 piso vs aislado con LRB. Fuente: Suwal et al., 2020.	27

Resumen

Los aisladores sísmicos son elementos que tienen como principal función desacoplar el suelo de la estructura, se caracterizan por su capacidad para aumentar la flexibilidad y la eficiencia de disipación de energía. Por su naturaleza afectan directamente a parámetros como el periodo, deriva de piso, aceleración de piso y cortante basal, parámetros fundamentales al momento de evaluar y diseñar una estructura.

Esta monografía se enfoca en la comparación de edificios fijos y edificios aislados en la base de concreto reforzado, para ello, se realizará síntesis basada en la comparación de diferentes casos de estudio que traten el comportamiento de diferentes tipos de aisladores.

Como resultado, la incorporación de aisladores sísmicos incrementa significativamente el periodo fundamental de la estructura; y ya que el periodo es un parámetro de entrada fundamental en el espectro de aceleraciones, este aumento se traduce en una disminución de las aceleraciones de diseño, reduciendo así las fuerzas sísmicas que actúan sobre la estructura. En adición a lo anterior, se afecta directamente la deriva y la cortante de piso, pues disminuyen en gran medida, lo que puede significar un menor costo en los elementos de concreto reforzado, necesitando menor refuerzo y capacidad.

La inversión en tecnología de aislamiento sísmico es una decisión estratégica que contribuye a construir un futuro más seguro y resiliente. Al seleccionar el tipo de aislador adecuado y realizar una implementación cuidadosa, podemos aprovechar los beneficios de dicha tecnología para proteger nuestras comunidades y el patrimonio construido.

Palabras clave: Aisladores sísmicos, desempeño sísmico, edificios de concreto reforzado, eficiencia de disipación

Abstract

Seismic isolators are devices primarily designed to protect structures by decoupling them from ground motion during earthquakes. They are characterized by their ability to increase the flexibility of the structure and improve energy dissipation efficiency. Due to their nature, they directly influence parameters such as period, inter-story drift, story acceleration, and base shear, which are fundamental in the evaluation and design of structures.

This monograph focuses on comparing fixed buildings with base-isolated reinforced concrete buildings. To achieve this, we will review case studies from various authors exploring different types of isolators, ultimately synthesizing the results to assess the performance of these elements.

The incorporation of seismic isolators significantly increases the fundamental period of the structure. Since the period is a crucial input parameter in the acceleration spectrum, this increase translates into a reduction in design accelerations, thereby decreasing the seismic forces acting on the structure. Additionally, inter-story drift and base shear are significantly reduced, potentially leading to lower costs for reinforced concrete elements due to reduced reinforcement requirements.

Investing in seismic isolation technology is a strategic decision that contributes to building a safer and more resilient future. By selecting the appropriate type of isolator and ensuring careful implementation, we can harness the benefits of this technology to protect our communities and built heritage.

Keywords: Seismic isolators, seismic performance, reinforced concrete buildings, energy dissipation efficiency.

Motivación

El conocimiento de tecnologías avanzadas, como el aislamiento sísmico de base, no solo mejora la competitividad en el campo de la ingeniería civil, sino que también abre nuevas oportunidades en un mercado donde la seguridad y la eficiencia son cada vez más valoradas. La capacidad de ofrecer soluciones innovadoras y seguras se convierte en una ventaja competitiva clave. Las empresas de construcción y firmas de ingeniería en Colombia que adopten estas tecnologías pueden posicionarse como líderes en el sector, atrayendo proyectos de alto perfil tanto a nivel nacional como internacional. Por ejemplo, proyectos de infraestructura en desarrollo, como el Metro de Bogotá, pueden beneficiarse de ingenieros que comprendan y apliquen el aislamiento sísmico en aras de garantizar la seguridad y durabilidad de estas grandes inversiones.

A diferencia de las técnicas tradicionales de refuerzo sísmico, que se centran en aumentar la resistencia y ductilidad de los miembros estructurales, el aislamiento sísmico de base se enfoca en desacoplar la estructura del movimiento del suelo, reduciendo así las fuerzas sísmicas transmitidas. Mientras que las técnicas convencionales dependen de aumentar las dimensiones y mejorar los materiales de los componentes estructurales (Deringöl y Güneyisi, 2021), la implementación de controles estructurales modernos, como el aislamiento sísmico, mejora la respuesta y el desempeño sísmico de la estructura al controlar las deformaciones máximas de piso, la cortante en la base y la disipación de energía, entre otros.

Para nosotros, como estudiantes y futuros diseñadores, es crucial entender el funcionamiento de estos elementos, sus diferentes componentes, materiales, comportamiento y desempeño. La implementación o adaptación de estos controles estructurales avanzados nos permite atender requerimientos específicos y ofrecer una gama más amplia de soluciones en comparación con las técnicas convencionales. Por ejemplo, en Japón, el uso del aislamiento sísmico ha permitido restaurar, conservar y construir rascacielos que pueden soportar terremotos severos, demostrando así la efectividad y eficiencia de esta tecnología. Además, en Japón también se utiliza para rehabilitar edificaciones existentes y conservar el patrimonio arquitectónico. Existe una gran cantidad de información y estudios al respecto que respaldan su eficacia y aplicación en diversas situaciones.

Objetivos

El objetivo de esta revisión literaria es analizar y sintetizar investigaciones y desarrollos recientes en el campo de los aisladores sísmicos en la base, con el fin de identificar las tendencias actuales y evaluar la eficacia de diferentes tipos de aisladores en comparación con edificios fijos en la base de concreto reforzado

Objetivos específicos

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica sobre los aisladores sísmicos, incluyendo estudios de casos y avances tecnológicos que demuestren su funcionamiento y aplicación práctica.
- Comparar los mecanismos de absorción de energía de los aisladores sísmicos con otros tipos de dispositivos sísmicos, como los aisladores de deslizamiento, destacando sus ventajas y limitaciones en diferentes contextos estructurales.
- Elaborar una tabla comparativa que sintetice las características clave y el rendimiento de diferentes tipos de aisladores sísmicos enfocándose en su flexibilidad estructural y capacidad para minimizar las fuerzas sísmicas transmitidas.

Introducción

Los sismos son fenómenos naturales que, dadas sus características, pueden generar grandes afectaciones en las construcciones, lo cual resulta en importantes pérdidas económicas, humanas y materiales. A lo largo de la historia, especialmente en regiones propensas a terremotos, se han desarrollado diversas tecnologías para proteger los edificios y las infraestructuras de dichos fenómenos. La historia de los aisladores sísmicos se remonta a principios del siglo XX, cuando se comenzaron a explorar formas de reducir el daño estructural causado por los terremotos. Sin embargo, los primeros desarrollos prácticos y aplicaciones significativas ocurrieron en la segunda mitad del siglo XX (Mohammed y Coria, 2018). Una de las técnicas más efectivas es el aislamiento sísmico, que consiste en la implementación de dispositivos diseñados para mitigar las fuerzas sísmicas que actúan sobre una estructura, disipando la energía generada durante un evento sísmico y reduciendo así el riesgo de daños catastróficos (Meza Gallegos et al., 2022).

Los aisladores sísmicos, incluidos los aisladores de goma y los aisladores de péndulos, se caracterizan por su capacidad para aumentar la flexibilidad y la eficiencia de disipación de energía de una estructura. Estos dispositivos funcionan intercalándose entre la base de la superestructura y las cimentaciones, lo que permite un desplazamiento relativo controlado durante un terremoto. Esta separación entre la estructura y el suelo reduce drásticamente las fuerzas transmitidas a la edificación, minimizando los efectos sísmicos y protegiendo su integridad estructural (Correa Avila, 2019).

En Colombia, el uso del aislamiento sísmico en estructuras ha crecido en los últimos años. Uno de los primeros hospitales en adoptar esta tecnología fue el Hospital de Cali, donde la decisión se fundamentó en experiencias comerciales. Este hospital, que contaba con un diseño convencional, sufrió daños severos durante el terremoto de 2004, lo que llevó a un largo proceso de reparación de tres años, durante el cual no generó ingresos. A raíz de esta experiencia, el propietario decidió implementar aislamiento sísmico en todos sus nuevos hospitales ubicados en zonas de alta sismicidad, una tendencia que ha sido seguida por otros proveedores de servicios de salud en el país (Mohammed y Coria, 2018).

Además, el aislamiento sísmico ha comenzado a ser utilizado en edificios universitarios y condominios, reflejando su creciente aceptación como una medida de seguridad. Un ejemplo local es el Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT, en Medellín, un proyecto reciente que utiliza

aisladores sísmicos del tipo LASTO®LRB. Este edificio destaca por su diseño innovador y su contribución al aprendizaje y desarrollo científico de la región. Por otro lado, ingenieros de puentes en Colombia también han aprovechado esta técnica para crear formas estructurales innovadoras, como en el Puente Corredor Honda-Manizales. Esta expansión en la adopción del aislamiento sísmico en diversos tipos de edificaciones subraya su relevancia en la reducción de riesgos sísmicos en el país.

Los métodos de diseño y evaluación basados en el desempeño nos permiten tomar decisiones informadas para realizar análisis detallados sobre las amplias consecuencias de los terremotos en edificios nuevos y existentes. Esta información es valiosa para evaluar las compensaciones al diseñar nuevos edificios, al renovar construcciones existentes, al adquirir o arrendar espacios, y al gestionar el riesgo asociado a los inmuebles en propiedad. De esta manera, los tomadores de decisiones pueden evaluar diferentes opciones y tomar decisiones personalizadas de gestión de riesgos que reflejen sus necesidades, valores, presupuesto y cronograma.

Un enfoque basado en el desempeño para el diseño y evaluación sísmica se sugiere pertinente para comprender cómo las estructuras pueden comportarse durante los terremotos en tanto representan una solución innovadora para mejorar la resiliencia de los edificios. Este enfoque considera la implementación de aisladores sísmicos, ya que busca mitigar los daños durante un evento sísmico y asegurar que las estructuras mantengan su funcionalidad y seguridad después del sismo.

De este modo, los aisladores sísmicos permiten que las edificaciones no solo sobrevivan a un terremoto, sino que también sigan operativas, lo que es crucial para la continuidad de servicios esenciales. Esta metodología permite una evaluación precisa de cómo los aisladores influyen en el comportamiento estructural, facilitando decisiones informadas que optimizan la resistencia y la operatividad de los edificios ante eventos catastróficos (FEMA, 2018). Junto con arquitectos, ingenieros y otros profesionales del diseño, estos análisis basados en el desempeño son fundamentales para reducir la probabilidad de lesiones, minimizar la incertidumbre y los tiempos inactivos, y mitigar posibles pérdidas financieras futuras.

Las características dinámicas de las estructuras, como el periodo y el amortiguamiento, juegan un papel crucial en la implementación de aisladores sísmicos. En muchos casos de diseño se busca incrementar hasta tres veces el periodo fundamental de la estructura sin aislar. Por otro lado, en edificaciones de hasta 20 pisos el amortiguamiento puede representar un 5 % del valor

crítico antes de la instalación de aisladores; sin embargo, una vez que la base de la estructura está aislada, este porcentaje puede oscilar entre el 5 % y el 50 % del valor crítico (Castilla Hernández y Arroyo Agamez, 2022). La magnitud de la influencia del amortiguamiento en las propiedades estructurales depende de varios factores, incluido el tipo de aislador sísmico utilizado. Comprender estas dinámicas es esencial para el diseño efectivo de edificaciones resilientes y su seguridad ante eventos sísmicos.

Lo anterior constituye parte del análisis llevado a cabo para evaluar cómo las tecnologías de aislamiento sísmico pueden implementarse de forma óptima, contribuyendo a la protección de las estructuras, a la mitigación de riesgos en la ingeniería moderna y a la preservación de la vida.

Marco Teórico

Sistemas de aislamiento:

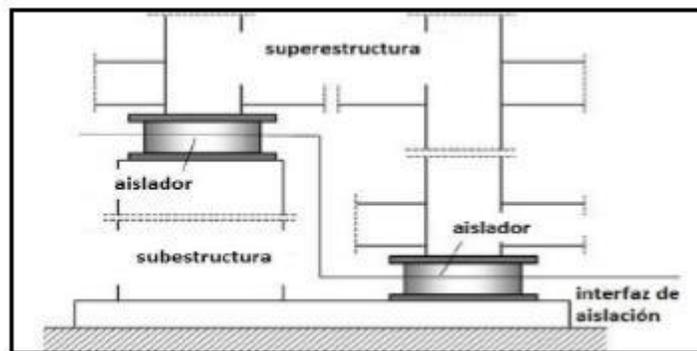
La aislación sísmica se basa en desacoplar la estructura del edificio del terreno en dirección horizontal para modificar su respuesta durante un sismo. Este desacoplamiento se logra mediante dispositivos de aislación, conocidos como aisladores. Estos dispositivos tienen alta rigidez vertical y son muy flexibles en la dirección horizontal, permitiendo que soporten grandes deformaciones durante un terremoto. Los sistemas de aislamiento en la base están constituidos de los siguientes elementos (Correa Avila, 2019):

Unidad de Aislamiento: Es un componente estructural del sistema de aislamiento que presenta rigidez vertical y flexibilidad horizontal. Esta característica permite que el componente soporte grandes deformaciones laterales durante las cargas sísmicas de diseño. La unidad de aislamiento puede usarse como parte integral del sistema de soporte de carga vertical de la estructura o como una adición a dicho sistema.

Interfaz de Aislamiento: Es la línea imaginaria que separa la parte superior de la estructura, que está aislada, de la parte inferior, que se mueve rígidamente con el terreno.

Sistema de Aislamiento: Conjunto de elementos estructurales que abarca todas las unidades de aislamiento (aisladores), los componentes que transfieren las fuerzas entre estos elementos y las conexiones a otros elementos estructurales. Además, el sistema de aislamiento puede incluir sistemas de restricción de viento, dispositivos de disipación de energía y/o sistemas de restricción de desplazamiento, siempre y cuando estos elementos sean necesarios para cumplir con los requisitos de diseño establecidos por la norma, En la Figura 1 podemos apreciar las partes anteriormente descritas de un sistema de aislamiento en la base.

Figura 1: *Partes del sistema de aislamiento.* Fuente: Correa Avila, 2019.

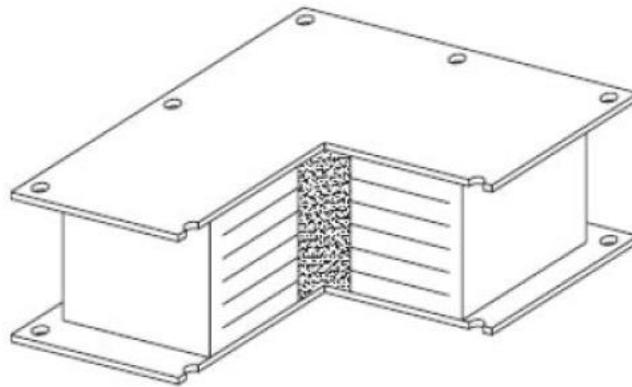


Existen varios tipos de aisladores sísmicos, cada uno con características específicas adaptadas a diferentes contextos y necesidades estructurales. Entre los más comunes se encuentran los aisladores elastoméricos, que consisten en capas de material elastomérico entre placas metálicas que se deforman bajo cargas sísmicas absorbiendo así la energía del terremoto. También están los aisladores de deslizamiento, que permiten el movimiento relativo entre la estructura y el suelo mediante la utilización de superficies deslizantes, reduciendo las fuerzas sísmicas transmitidas (Correa Avila, 2019).

Aisladores Elastómeros

Un aislador elastómero se compone de placas de goma y acero unidas mediante un proceso de vulcanización. La rigidez del soporte se controla mediante el grosor de las capas de goma; cuanto más gruesas sean estas capas, más flexible será el soporte en la dirección horizontal. Por otro lado, la rigidez vertical está determinada por la rigidez en planta de las placas de acero, que impide la expansión lateral de la goma provocada por la presión vertical. Dentro de esta categoría de aisladores podemos diferenciar 3 tipos 1) aisladores de caucho natural o de bajo amortiguamiento, 2) aisladores con núcleo de plomo 3) aisladores de alto amortiguamiento. En la Figura 2 podemos observar uno de los tipos de aisladores más usados internacionalmente, inventado en Nueva Zelanda en año 1975: un elastómero con núcleo de plomo (Valerio Zacarias, 2015).

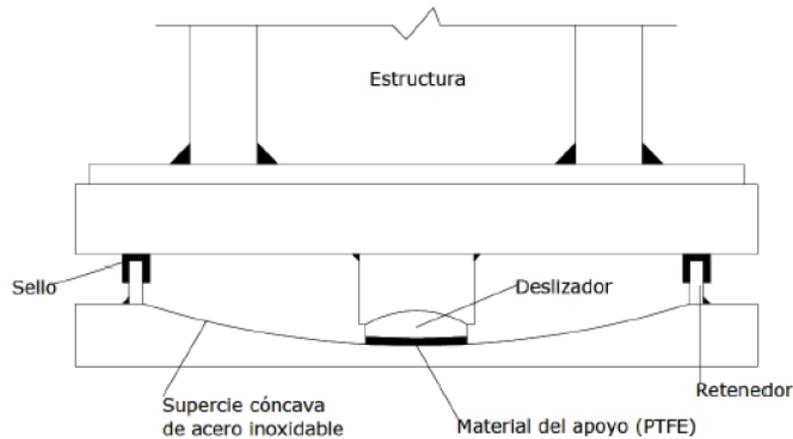
Figura 2: *Aislador de elastómero con núcleo de plomo (LRB).* Fuente: Valerio Zacarias, 2015.



Aisladores de deslizamiento o fricción

Los aisladores de fricción pueden disipar una cantidad significativa de energía, ya que sus ciclos de histéresis son rígidos-plásticos. Sin embargo, se observan diferencias importantes en su respuesta dependiendo de las formas de las superficies en contacto. La más simple de estas superficies es plana y carece de alguna fuerza de restitución, lo que la hace poco utilizada. En caso de emplearse, debe combinarse con otro sistema capaz de proporcionar el autocentrado de la estructura. Para superar estos problemas se recurre a la alternativa con superficie esférica, cuya respuesta se asemeja a la de un péndulo, y por ello se denominan sistemas de péndulo de fricción (FPS, por sus siglas en inglés, Friction Pendulum System). También se encuentran aisladores con superficies cóncavas que poseen una fuerza autocentrante similar, aunque su descripción es más compleja. En la Figura 3 observamos un aislador de tipo deslizante de péndulo de fricción (FPS) que combina la geometría del elemento para generar la fuerza autocentrante.

Figura 3: Aislador de tipo deslizante de péndulo de fricción (FPS). Fuente: Valerio Zacarias, 2015.

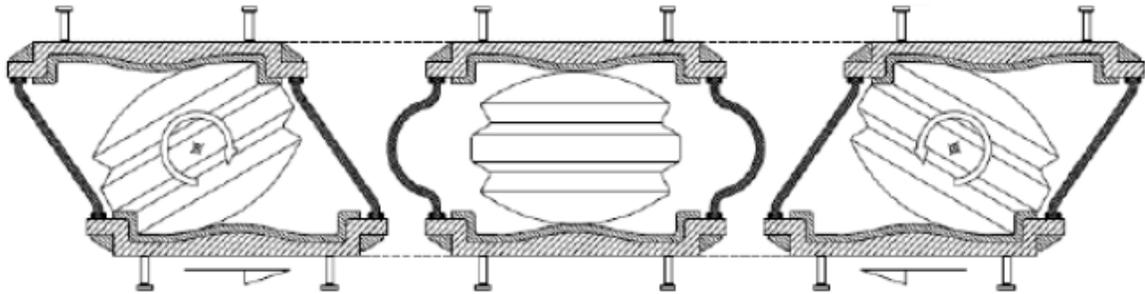


Aisladores de base rodante

La filosofía de estos aisladores se basa en que un núcleo esférico o elíptico, rote entre dos placas. La ventaja principal de rodar sobre la superficie y no deslizarse como en el anterior tipo se debe lo pequeño que es el coeficiente de rodadura en comparación con el coeficiente de fricción, permitiendo así una mejor desconexión de la estructura y del suelo.

Dentro de este grupo uno de los mecanismos más modernos es el Roll N Cage, como se mencionó, el principio básico del aislador RNC radica en su capacidad de rotación, la cual proporciona una gran desconexión entre el suelo y la estructura debido a la baja fuerza requerida para iniciar el movimiento. No obstante, un sistema con mínima resistencia lateral puede ser susceptible a vibraciones bajo cargas pequeñas, ya que podría presentar grandes deformaciones permanentes durante cargas sísmicas. Para mitigar estos efectos, se incorporaron amortiguadores metálicos de fluencia o barras de plomo alrededor del cuerpo central, formando una especie de jaula. Estos amortiguadores proporcionan la rigidez lateral necesaria para manejar pequeñas cargas laterales y ofrecen amortiguamiento adicional para limitar la amplitud de desplazamiento causado por las vibraciones. Su disposición radial asegura una tensión de cortante uniforme en todas las direcciones. En la Figura 4 podemos observar el comportamiento de uno aislador Roll N Cage para una carga horizontal.

Figura 4: Aislador rodante tipo Roll N Cage. Fuente: Valerio Zacarias, 2015.



Metodología

El objetivo de esta revisión de literatura es comparar el desempeño estructural de edificaciones equipadas con aisladores sísmicos respecto a edificaciones con bases fijas. El análisis se centrará en los siguientes parámetros: deriva, cortante basal, desplazamientos, periodos.

Bases de datos y selección de literatura:

Se buscarán artículos, estudios y publicaciones en bases de datos científicas como Scopus, Google Scholar, ResearchGate, y ScienceDirect. Además, se integrarán herramientas como ChatGPT y Perplexity para optimizar el proceso de búsqueda. Estas herramientas permitirán la formulación de ecuaciones de búsqueda efectivas, facilitando la identificación de literatura relevante.

La selección de los artículos se basará en los siguientes criterios:

- Año de publicación: Solo se considerarán estudios publicados en los últimos 10 años, para asegurar que la revisión sea relevante y contemple las últimas investigaciones y avances tecnológicos.
- Tipo de estudio: Se incluirán estudios que presenten resultados comparativos de edificaciones con aisladores sísmicos y con bases fijas, con análisis de los parámetros mencionados.
- Tipo de estructura: Solo se tomarán los casos de investigación donde se estudien o modelen edificios de concreto reforzado de sistemas aporticados, de muros o mixtos.
- Localización: Se busca tener una diversificación en los lugares de estudios, procurando recoger información de autores de diferentes países.

Parámetros de análisis:

- Deriva de entrepiso: Se evaluarán los estudios que reporten la deriva de entrepiso en edificios con y sin aisladores, y cómo estos afectan la estabilidad estructural.
- Cortante basal: Se analizará cómo varía la fuerza cortante en la base de los edificios con y sin aislamiento sísmico.

- Desplazamientos: Se revisarán estudios que reporten los desplazamientos máximos durante un evento sísmico, para entender cómo los aisladores afectan el movimiento de la estructura.
- Aceleraciones: Se analizarán las aceleraciones en la superestructura para determinar cómo los aisladores sísmicos reducen las fuerzas que afectan a los pisos superiores
- Periodo de la estructura: Se revisarán los estudios que analicen el periodo natural de vibración de las estructuras antes y después de la implementación de aisladores sísmicos, siendo este uno de los principales factores al momento del diseño de aisladores.
- Comparación de diferentes tipos de aisladores: Se busca comparar los principales tipos de aisladores (HDRB, LRB, FPS) para analizar cuál de ellos ofrece un mejor desempeño en términos de los parámetros previamente mencionados

Análisis de los resultados:

Una vez seleccionada la literatura, se procederá a un análisis comparativo de los resultados presentados en los estudios seleccionados, enfocándose en la eficacia de los aisladores para reducir la deriva, el cortante basal, y los desplazamientos en comparación con las estructuras fijas.

Limitaciones:

El estudio estará limitado a aquellos artículos que proporcionen datos numéricos comparativos entre edificaciones con y sin aisladores sísmicos. No se incluirán investigaciones que se centren únicamente en aspectos teóricos o que no presenten resultados cuantificables. Además, se excluyen del análisis los estudios que aborden edificaciones con irregularidades en altura, así como edificios de estructuras metálicas o de mampostería.

Asimismo, este estudio no tomará en cuenta la afectación post-uso de los aisladores ni la normatividad o códigos de construcción aplicados en los análisis. Estas omisiones se realizan para garantizar que los resultados sean consistentes y relevantes. Al centrarse en investigaciones que cumplan con estos criterios, se busca proporcionar una base sólida para evaluar el desempeño de los aisladores sísmicos en edificaciones de concreto reforzado.

Estado del arte

Colombia está en una región de alta actividad sísmica dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas con más terremotos del mundo. Más de la mitad de las estructuras en el país se han construido informalmente y gran parte de las que cumplen con las normas han demostrado un bajo desempeño estructural durante sismos recientes (Arguello Osma y Ortiz García, 2023).

Las tecnologías de aislamiento sísmico y disipación de energía tienen una larga trayectoria y se han estudiado y usado durante muchos años. Después de ser estudiadas y utilizadas por muchas décadas, los conceptos teóricos y los mecanismos de funcionamiento subyacentes de estos sistemas están hoy bien establecidos. Así que surgieron nuevas líneas de investigación relativamente modernas que implementan estrategias avanzadas basadas en la fiabilidad o en el rendimiento capaces de manejar las incertidumbres inherentes al comportamiento del dispositivo y a la respuesta de las estructuras protegidas.

En Colombia, la norma de construcción sismorresistente no posee un apartado dedicado a los sistemas de control de respuesta sísmica. Solo se consigna que en la construcción de edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico o disipadores de energía debe existir supervisión técnica permanente, asimismo, permite su uso siempre que se cumplan los requisitos mínimos establecidos en alguno de estos documentos en documentos como FEMA (2018) y ASCE/SEI 7-05 o NSR 10 (2010) en la sección A.3.8.

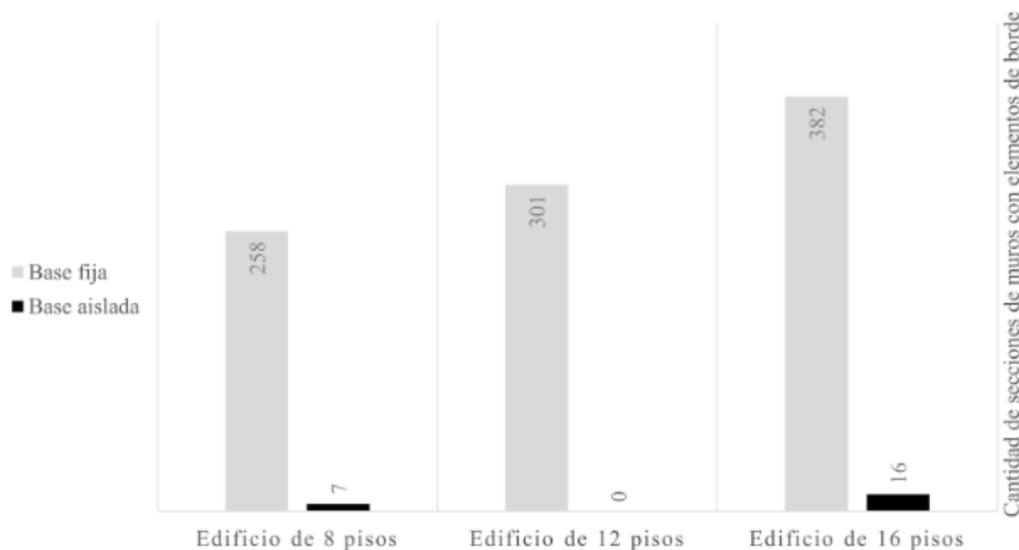
El uso más generalizado de aisladores en el territorio tiene un gran potencial de aplicación para abordar, por ejemplo, la readecuación sísmica de estructuras existentes, el diseño de nuevas edificaciones más seguras frente a sismos y la reparación de estructuras dañadas.

Para diseñar e implementar sistemas de aislamiento sísmico en Colombia es muy práctico basarnos en normas internacionales y estudios que demuestren sus beneficios de aplicación. Esta integración de estándares internacionales no solo asegura una mayor eficiencia en la implementación de medidas preventivas contra sismos, sino que también facilita la comparación y evaluación de resultados a nivel global, como por ejemplo la planteada por Meza Gallegos et al (2022), titulado *Guía internacional para el diseño de aisladores sísmicos para países que no cuenten con una norma de aisladores sísmicos*.

Además, resulta útil basarse en la evidencia de los resultados de estudios hechos sobre la implementación de aisladores sísmicos, como el de Valerio Zacarias (2015), que compara el diseño de un edificio utilizando 4 tipos de aisladores y un edificio sin aislamiento en diferentes normativas mundiales. Determina que los diseños implementando aisladores sísmicos son menores a los parámetros establecidos por cada norma, incluyendo desplazamientos, derivas y aceleraciones.

También Niño-Castaño et al., (2024), como observamos en la Figura 5 compara la cantidad de secciones de muros con elementos de borde, mostrando una reducción significativa en estos componentes

Figura 5: Cantidad de secciones de muros con elementos de borde. Fuente: Niño-Castaño et al., 2024.



Todos estos estudios dan una base más sólida para implementar aisladores sísmicos en el país. La recopilación de investigaciones y resultados proporciona evidencia tangible de los beneficios y la eficacia de estos sistemas en la mitigación de daños durante eventos sísmicos. Sin embargo, la transición de los métodos convencionales de construcción ha sido un desafío debido a factores culturales y la resistencia al cambio. A pesar de estos obstáculos, la adopción de tecnologías avanzadas como los aisladores sísmicos es crucial para mejorar la seguridad y la resiliencia de las infraestructuras en Colombia. La educación y concienciación sobre los beneficios

de estos sistemas, respaldados por estudios detallados y guías internacionales, son fundamentales para superar las barreras culturales y promover su uso generalizado en el sector de la construcción.

Desempeño de Aisladores en la Base

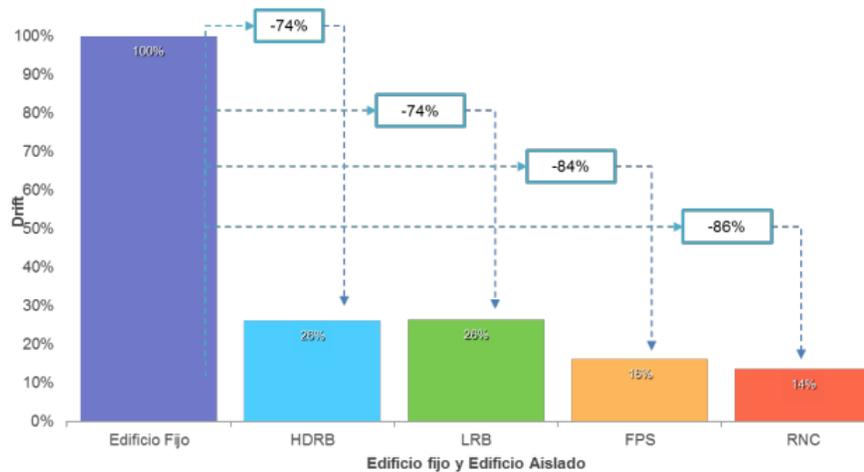
Investigaciones en todo el mundo han desarrollado modelos para la evaluación sísmica en edificios con aisladores en la base. En esta monografía se busca hacer una recopilación de diferentes autores que hayan desarrollado modelos con edificios aislados en la base y compararlos

Valerio Zacarias (2015) realiza la modelación de un edificio fijo de muros de concreto reforzado con 7 pisos de uso residencial y lo compara con el mismo edificio, pero implementado 4 diferentes aisladores en la base a través de un análisis tiempo historia. Se evalúan 4 factores de desempeño, la deriva de piso, la aceleración máxima en el piso superior, la cortante basal y el desplazamiento relativo con el terreno. Para el análisis tiempo historia utiliza 17 tipos de sismos y evalúa cada factor de desempeño en las componentes (x,y). Los aisladores utilizados son: High Damping Rubber Bearings (HDRB), Lead Rubber Bearings (LRB), Friction Pendulum System (FPS) y Roll N-Cage (RINC).

Como resultado se obtiene reducciones en la deriva del alrededor de 74% al 86% dependiendo del aislador utilizado, además, los resultados para la cortante basal y la aceleración máxima en el piso superior son satisfactorios por lo que concluye que los aisladores, son muy efectivos en la reducción de la fuerza sísmica que se transmite del suelo al edificio. Por otro lado, con el desplazamiento relativo con el terreno, concluye que el aislador Roll N Cage es el más eficiente ya que da la mejor respuesta ante los sismos en comparación con los otros 3 aisladores Valerio Zacarias (2015). En la

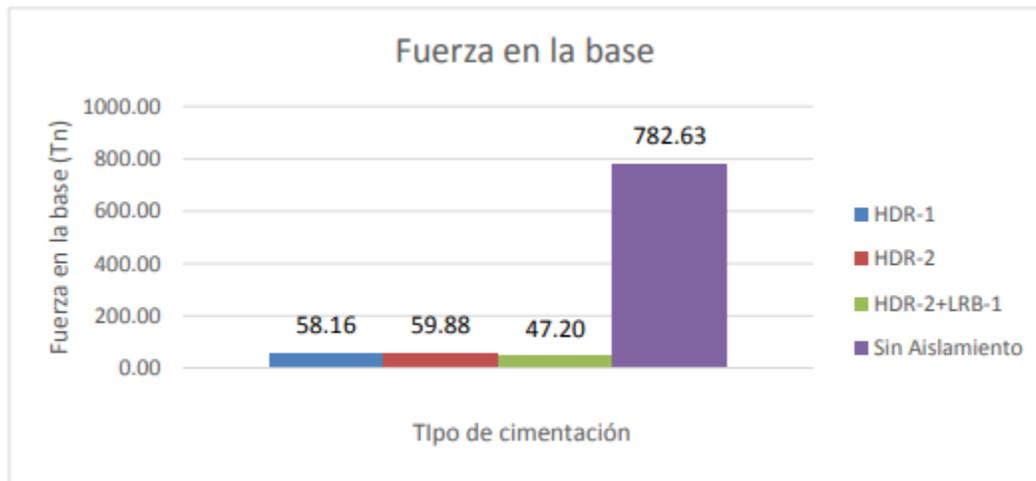
Figura 6 podemos observar la reducción promedio de la deriva de piso en comparación con edificio fijo en la base.

Figura 6: Reducción de deriva en comparación a 4 diferentes aisladores. Fuente: Valerio Zacarias, 2015.



Soriano (2014) modela un edificio existente de 5 pisos de concreto reforzado de Perú de uso institucional en el programa ETABS, con el objetivo de comparar el comportamiento de la estructura si tuviera aisladores en la base. Para esto usa 3 combinaciones de aisladores 1) aisladores elastómeros trabajando a sección completa, 2) una disminución en la sección del aislador, 3) implementados aisladores de alto amortiguamiento combinados con núcleo de plomo. El diseño de los aisladores se hace bajo el reglamento nacional de edificaciones (RNE) o reglamento peruano de edificaciones.

Se evalúan los factores de desempeño como la deriva de entrepiso, la cortante basal Figura 7, desplazamientos de diafragmas y periodos de la estructura, para 5 sismos. Se encuentra para deriva de entrepisos una reducción promedio del 60%, uno 79% en disminución en la cortante basal y un aumento de hasta 2 segundo en el periodo fundamental de la estructura. Como conclusión en estructuras con aisladores sísmicos, la respuesta estructural mejora en comparación con edificios sin aisladores, ya que se minimizan las derivas y las fuerzas en la base. Sin embargo, los aisladores pueden provocar mayores desplazamientos en los diafragmas y diferentes valores de desplazamientos absolutos durante el análisis tiempo-historia Soriano Cacho (2014).

Figura 7: Cortante basal de un edificio fijo vs uno con aisladores. Fuente: Soriano Cacho, 2014.

En Bangladesh, Saha y Hossain (2020) modelan un edificio de 10 pisos de concreto reforzado de uso hospitalario sin aislamiento sísmico, y luego a este mismo modelo le agregan aisladores elastoméricos de núcleo de plomo (LRD). El modelo se realiza en el programa ETABS y bajo el Código Nacional de Construcción de Bangladesh. (BNBC).

Los resultados y análisis de la investigación muestran que en para el caso de un edificio aislado se pueden hacer reducciones importantes en las dimensiones de las columnas y demás elementos de concreto reforzado, ya que se baja altamente la fuerza sísmica con el implemento de estos aisladores. Por otra parte, se concluye que el uso de aisladores con estos tipos de edificios puede disminuir hasta en un 25% el acero de refuerzo requerido y en un 30% las secciones de concreto reforzado.

En Indonesia, Rahardjo et al. (2023) realizaron un estudio sobre un edificio de apartamentos existente de 10 pisos y 1 semisótano de concreto reforzado, al cual se le incorporaron aisladores sísmicos de alto amortiguamiento (HDRB) utilizando el programa ETABS. Como parámetros de análisis, compararon los periodos, la cortante de piso y la deriva entre los modelos de edificio fijo y edificio con aislamiento sísmico. Uno de los resultados más destacados fue que el periodo natural del primer modo de vibración de la estructura aumentó en un 250%, mientras que los desplazamientos máximos se redujeron significativamente, de 172 mm en el edificio fijo a solo 17 mm en el edificio aislado.

Rahardjo et al. (2023) concluye que la implementación de aisladores sísmicos de alto amortiguamiento genera un aumento considerable en la flexibilidad de la edificación sin

comprometer su desempeño ante eventos sísmicos. Además, se observó una mejora del 25% en la capacidad de respuesta sísmica del edificio en comparación con la estructura fija en la base.

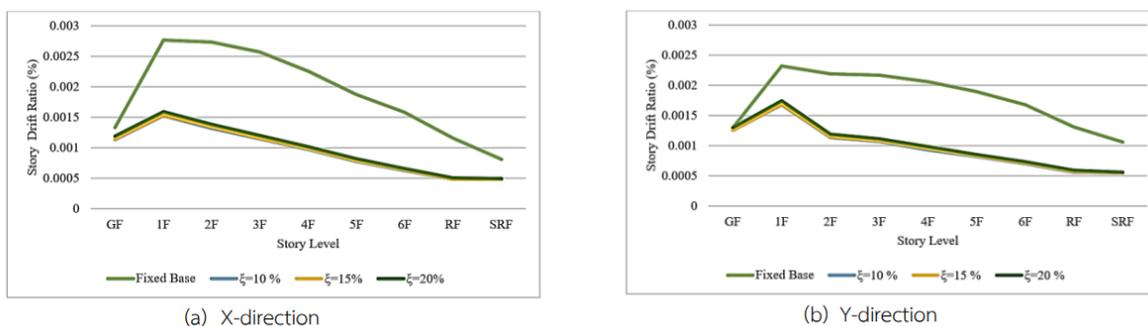
Hlaing y Saingam (2023) investigan la influencia de aisladores de alto amortiguamiento (HDRB) en un edificio de concreto reforzado de 7 pisos de uso residencial en Tailandia, adicionalmente, los autores proponen el diseño para diferentes amortiguamientos críticos 10%, 15%, y 20% buscando el mejor desempeño para los aisladores en base al este parámetro de diseño.

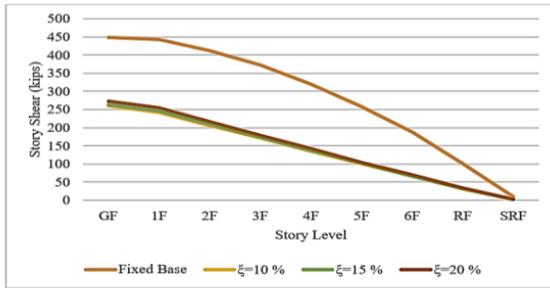
En la Figura 8 podemos observar los resultados de Hlaing y Saingam (2023) en los cuales comparan el edificio fijo con los 3 diferente diseño de aisladores. Es destacable la reducción en la deriva, cortante de piso y aceleración que generan los diferentes tipos de aisladores y por ende la mejora significativa en el comportamiento del edificio ante un sismo.

Como conclusión en la investigación se describe que los aisladores con amortiguamientos bajos tienen una peor respuesta sísmica en comparación con los amortiguamientos altos, sin embargo, los amortiguamientos altos provocan una mayor duración de la respuesta de la estructura aislada, lo que podría aumentar el riesgo de daño si el sismo se prolonga en el tiempo.

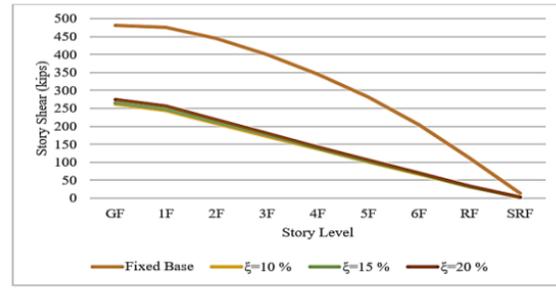
Mas adelante en la Tabla 1 con base a los resultados gráficos obtenidos por Hlaing y Saingam (2023) obtenemos los porcentajes correspondientes a cada uno de los parámetros a analizar, esto con el fin de poder tener valores números al igual que en otras investigaciones.

Figura 8: Resultados de un edificio fijo vs 3 diseños de amortiguamiento en aisladores. Fuente: Hlaing y Saingam, 2023

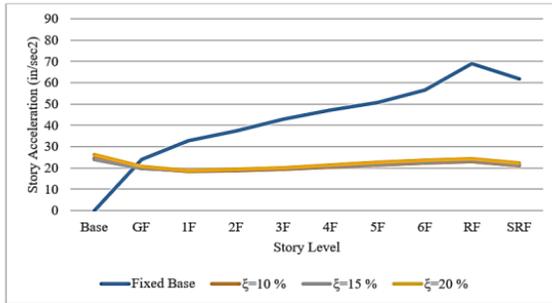




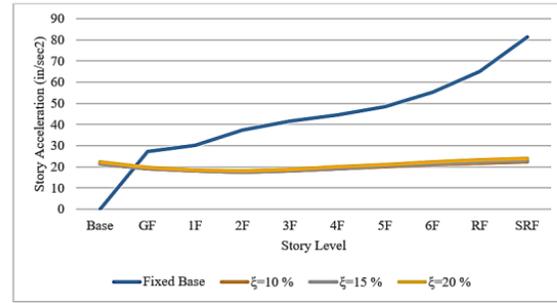
(a) X-direction



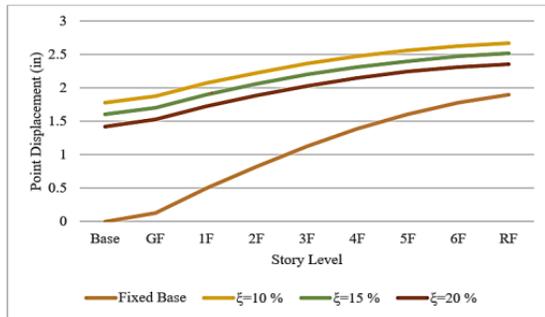
(b) Y-direction



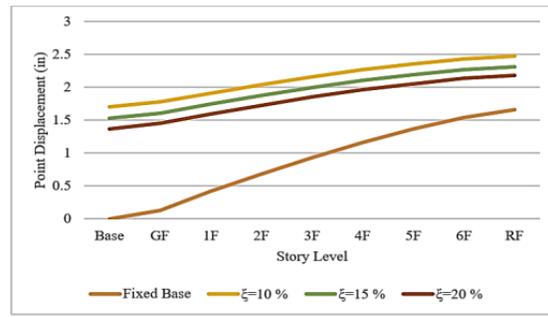
(a) X-direction



(b) Y-direction



(a) X-direction (At Point 4)



(b) Y-direction (At Point 1)

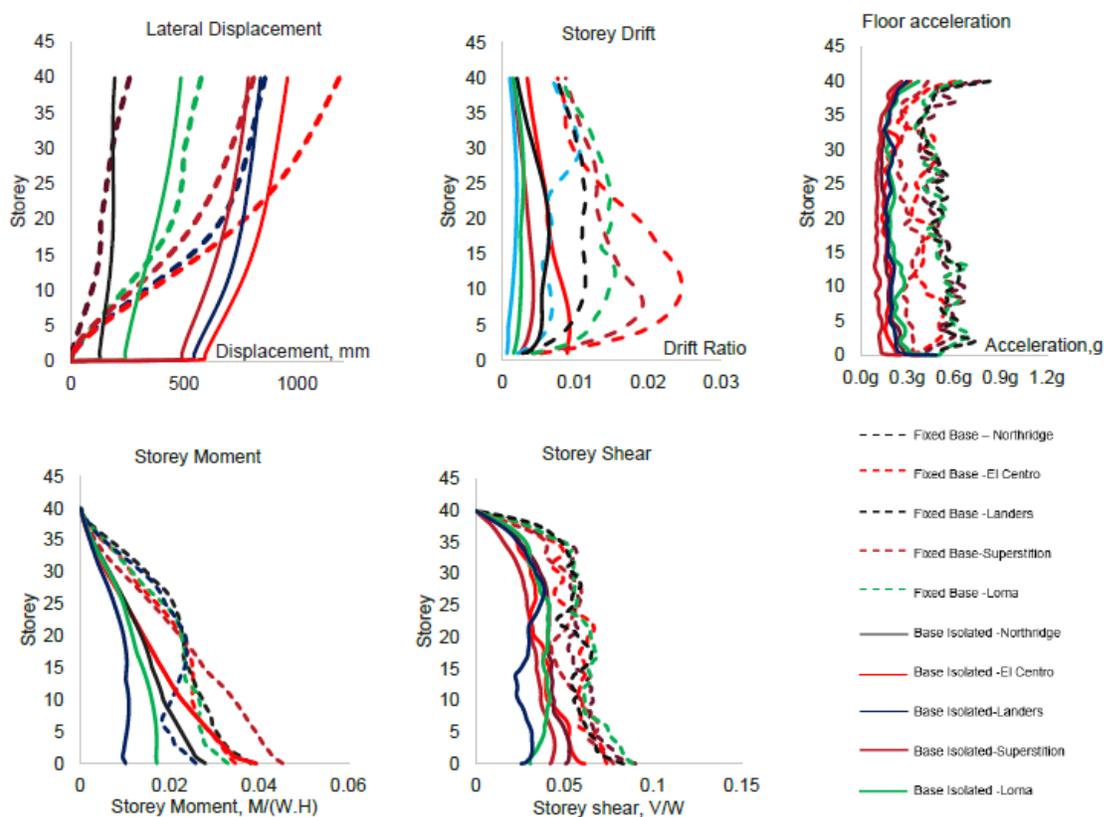
Rambabu et al.,(2024) modelaron en SAP2000 dos sistemas de aislamiento sísmico (péndulo de fricción y elastomérico de núcleo de plomo) para un edificio de 10 pisos, comparándolos con un modelo de base fija. Los resultados indicaron que ambos sistemas redujeron significativamente las demandas sísmicas en la estructura. En concreto, los aisladores de péndulo de fricción disminuyeron el cortante de piso en un 34.42% y los momentos en un 23.20%, mientras que los aisladores elastoméricos lo hicieron en un 28.57% y un 16.88%, respectivamente.

Además, se observó una reducción considerable del cortante basal en todas las zonas sísmicas, con disminuciones del 17.97% y 7.36% para los sistemas de péndulo de fricción y elastomérico, respectivamente.

Suwal et al. (2020) para la Conferencia Anual de Ingeniería Sísmica en Nueva Zelanda, presentan un estudio donde modelan un edificio de 40 pisos de concreto reforzado y lo comparan con uno de iguales características con aisladores en la base de tipo núcleo de plomo. Es destacable de esta investigación que adicionalmente hacen un Análisis No Lineal de Historia de Respuesta NLRHA de la edificación usado el software de elementos finitos Perform 3D

Los autores encuentran: para la deriva de piso, la aceleración de piso, la cortante en la base y el momento en la base una reducción en los rangos del 40-85%, 48-77%, 20-80% y 20-80% respectivamente, comparando el edificio fijo con el aislado como se muestra en la Figura 9

Figura 9: Resultados de un edificio fijo de 40 piso vs aislado con LRB. Fuente: Suwal et al., 2020.



Haciendo síntesis en los resultados de los diferentes autores anteriormente mencionados se obtiene la Tabla 1, que compara edificios fijos en la base con edificios aislados (principalmente

con HDRB y LRB) en función de su incremento del periodo, porcentaje de disminución de deriva y cortante en la base.

Tabla 1: *Comparación aisladores sísmicos* Fuente: Elaboración propia

Tipo de aislador	Año	País	Aumento del Periodo fundamental (%)	Reducción con respecto a la estructura fija en la base (%)			Incremento desplazamiento máximo (%)
				Deriva	Aceleración	Cortante	
HDRB (Valerio Zacarias)	2015	España	427	74	75	77	167
HDRB (Soriano Cacho)	2014	Peru	605	60	N/A	79	3389
HDRB (Rahardjo et al.)	2023	Indonesia	155	912	N/A	0	N/A
HDRB (Hnin & Panumas)	2023	Tailandia	199	70	188	73	44
LRB (Valerio Zacarias)	2015	España	473	74	75	76	212
LRB (Saha y Hossain)	2020	Bangladesh	69	18	N/A	49	N/A
LRB (Rambabu et al.)	2024	India	20	N/A	N/A	7	15
LRB (Suwal et al.)	2020	Nueva Zelanda	39	85	77	80	N/A
FPS (Valerio Zacarias)	2015	España	423	84	93	78	352
FPS (Rambabu et al.)	2024	India	0	N/A	N/A	15	6

En el estudio comparativo de aisladores sísmicos presentado, se observa una variedad significativa en los resultados obtenidos; esto se debe a que algunos estudios como los de Saha & Hossain y Rambabu et al., (2020) realizan el diseño de los edificios asilados para una menor capacidad del concreto y menor refuerzo. Se puede decir que buscan igualar las condiciones del edificio fijo a un edificio aislado con menos resistencia o menos refuerzo, lo que en la práctica sería tener un edificio más liviano y menos costoso a estar aislado.

Por otra parte, los resultados obtenidos muestran que la incorporación de aisladores sísmicos incrementa significativamente el periodo fundamental de la estructura, desacoplándola del movimiento del suelo durante un sismo. Dado que el periodo es un parámetro de entrada fundamental en el espectro de aceleraciones, este aumento se traduce en una disminución de las aceleraciones de diseño, reduciendo así las fuerzas sísmicas que actúan sobre la estructura.

Las derivas en un edificio aislado son significativamente menores en comparación con los edificios fijos. Todo esto parte del punto anterior, pues al tener una menor aceleración y conservando masas y rigidez, lo que se obtiene son menores desplazamientos relativos de entresijos. Es necesario aclarar que las derivas son valores máximos que según la norma se deben

cumplir para asegurar las condiciones de servicios. Al igual que la deriva, la aceleración de piso y la cortante basal en la mayoría de los casos presentan disminuciones significativas que reafirman el buen desempeño que los aisladores tienen para este tipo de estructuras.

Los desplazamientos máximos presentados se dan en la parte superior de las estructuras, y podemos observar aumento importante de este parámetro en los edificios aislados. Esto se debe a que, en un edificio fijo el desplazamiento con respecto a suelo es la máxima deformación que tiene la estructura, que por lo general se presenta en la parte superior; mientras en un edificio aislado el desplazamiento es la suma de la deformación del edificio más la deformación del aislador, esta última por lo general suele ser de gran magnitud incluso superando las máximas de un edificio fijo.

Discusión

Basado en la revisión de diversos estudios, como los de Valerio Zacarias (2015), Soriano Cacho (2014), Saha y Hossain (2020), Rahardjo et al. (2023), Hlaing y Saingam (2023), y Rambabu et al. (2024), se evidencia un consenso generalizado y cuantificado sobre la efectividad de los aisladores sísmicos en la mitigación de los efectos de los sismos sobre edificaciones. Estos dispositivos demuestran una capacidad significativa y consistente para reducir la respuesta sísmica de las estructuras, minimizando desplazamientos, fuerzas sísmicas y daños estructurales.

Además de los beneficios en términos de seguridad, la implementación de aisladores sísmicos ofrece ventajas económicas significativas. Saha y Hossain (2020) concluyeron que la reducción de las fuerzas sísmicas permite optimizar el diseño estructural, lo que se traduce en ahorros en materiales y mano de obra. En este caso lo que se debe analizar más a fondo es el costo adicional de usar un aislador sísmico, desde los aspectos de diseño, construcción y mantenimientos.

Por otra parte, en muchas ocasiones lo que se requiere es proteger la estructura de un evento sísmico, no solo salvaguardando las vidas humanas y permitiendo la funcionalidad del edificio, sino también protegiendo el patrimonio que puede tener la misma edificación o sus instalaciones. Para esos casos los aisladores son elementos muy útiles que minimizan el daño que puede ocasionar el sismo en la edificación.

La selección del tipo de aislador (HDRB, LRB, FPS, RNC) y su diseño deben considerar las normativas locales y las características específicas de cada proyecto. Estudios como el de Hlaing y Saingam (2023) sugieren que el nivel de amortiguamiento puede influir en la duración de las vibraciones y, por lo tanto, en el confort de los ocupantes. Es necesario profundizar en la investigación sobre este aspecto para establecer criterios de diseño que garanticen un nivel de vibración aceptable.

Conclusiones

Los aisladores sísmicos han demostrado ser una tecnología eficaz y versátil para mejorar la seguridad y resiliencia de las edificaciones frente a sismos. Los resultados de diferentes autores en diferentes países son concluyentes a la hora de demostrar que las estructuras aisladas tienen un mejor desempeño al desacoplar la estructura del suelo. Estos dispositivos reducen significativamente las fuerzas sísmicas transmitidas, derivas y aceleraciones, minimizando daños y protegiendo vidas.

La elección del tipo de aislador (HDRB, LRB, FPS) depende de las características específicas de cada proyecto. Los HDRB destacan por su alta capacidad de disipación de energía, los LRB ofrecen una buena combinación de rigidez y ductilidad, y los FPS proporcionan un control preciso de los desplazamientos. Sin embargo, no existe una solución única para todos los casos. La selección óptima debe basarse en un análisis detallado que considere factores como el tipo de estructura, las condiciones sísmicas del sitio, las regulaciones locales y el presupuesto.

La implementación de aisladores en edificios de concreto reforzado pueden disminuir su costo, ya que al bajar las solicitaciones se puede diseñar con una menor capacidad, rebajando la cantidad de acero de refuerzo y resistencias o secciones de concreto, aunque para esto se debe analizar a detalle el costo del aislador, su construcción y mantenimiento.

La inversión en tecnología de aislamiento sísmico es una decisión estratégica que contribuye a construir un futuro más seguro y resiliente. Al seleccionar el tipo de aislador adecuado y realizar una implementación cuidadosa, podemos aprovechar los beneficios de esta tecnología para proteger nuestras comunidades y el patrimonio construido.

Referencias

Arguello-Osma, O., & Ortiz-García, N. (2023). *Estudio de la importancia de incorporar aisladores y disipadores sísmicos en la cotidianidad del diseño estructural de edificaciones en Colombia*. (Trabajo de grado - Pregrado) Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/3a611409-7125-406b-b2eb-0c913dfc69a8>

Castilla Hernández, G. A., & Arroyo Agamez, C. A. (2022). *Uso de aisladores elastoméricos en Colombia y su impacto en una edificación de grupo de uso IV*. (Trabajo de grado - Posgrado) <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/32606>

Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10*.

Correa Ávila, E. (2019). Apoyo para la elaboración y organización del documento correspondiente a la futura norma de aislamiento sísmico en Colombia (Trabajo de grado - Pregrado). Universidad de La Salle. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/32127>

Deringöl, A. H., & Güneyisi, E. M. (2021). *Effect of using high damping rubber bearings for seismic isolation of the buildings*. International Journal of Steel Structures, 21(5), 1698-1722. <https://doi.org/10.1007/s13296-021-00530-w>

FEMA The National Earthquake Hazards Reduction Program. (2020). *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-10/fema_2020-nehrp-provisions_part-1-and-part-2.pdf

Hlaing, H. H., & Saingam, P. (2023). *Comparative study on seismic-resistant design using base isolation system* [Paper presentation]. In Proceedings of the 28th National Convention on Civil Engineering, Phuket, Thailand. <https://conference.thaince.org/index.php/nce28/article/download/2128/1256/>

Meza Gallegos, L., Quintanilla Gallegos, M., & Orihuela Davila, J. (2022). *Guía internacional para el diseño de aisladores sísmicos para países que no cuenten con una norma de aisladores sísmicos*. 20° LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. <https://doi.org/ndvs>

Mohammed, M. S., & Coria, C. (2018). *Seismic isolation in North and South America*. Paper presented at the 2018 NZSEE Conference, New Zealand. <https://www.researchgate.net/publication/378693159> [Seismic isolation in North and South America](https://www.researchgate.net/publication/378693159)

Niño-Castaño, J. A., Chalarca, B., & Bedoya-Ruiz, D. (2024). *Influencia del aislamiento sísmico en el diseño sismorresistente de edificios con estructura de muros de concreto reforzado*. Ingeniería y Competitividad, 26(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v26i1.12779>

Rahardjo, I. P., Tajunnisa, Y., Komara, I., Arifa, G. N., Sungkono, & Wahyudi, D. I. (2023). *Performance of high-damping rubber bearings for seismic isolation – Case study of Nayumi Sam Tower Malang apartment*. IPTEK, The Journal of Engineering, 9(3), eISSN: 2807-5064. <https://doi.org/10.12962/j23378557.v9i3.a16233>

Rambabu, R., Ramanjaneyulu, B., & Mahesh, K. (2024). *Base isolation and energy dissipating system in earthquake resistant building design*. CVR Journal of Science and Technology, 26(1), 13-20. <https://doi.org/10.32377/cvrjst2603>

Saha, P., & Hossain, T. R. (2022). *Design of RC building with LRB isolator as per BNBC 2020 provisions*. In Proceedings of the 6th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2022). Khulna University of Engineering & Technology. https://www.researchgate.net/publication/358802407_Design_of_RC_Building_with_LRB_Isolator_as_per_BNBC_2020_Provisions

Soriano Cacho, José Luis. (2014). "Comparación de la respuesta estructural del pabellón de la Universidad Privada del Norte con aisladores sísmicos elastoméricos y sin aisladores sísmicos." (Trabajo de grado - Pregrado) Repositorio de la Universidad Privada del Norte <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/4917>

Suwal, N, Warnitchai P & Najam F. (2020). *Seismic base isolation of high-rise RC shear wall building using lead core rubber bearings*. New Zealand Society for Earthquake Engineering Document Repository. <https://repo.nzsee.org.nz/handle/nzsee/1695>

Valerio Zacarias, J. J. (2015). *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos* [Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPC BARCELONATECH. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/80231>