

Aisladores Sísmicos de Base: Un Compendio de Alternativas



AUTORES

DIERID YEIR SIERRA CASTELLANOS

DIANA VICTORIA PAEZ DUQUE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

PhD. CARLOS ANDRÉS GAVIRIA MENDOZA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, 19 OCTUBRE 2020

Aisladores Sísmicos de Base: Un Compendio de Alternativas

Base Seismic Isolators: A Compendium of Alternatives

Dierid Yeir Sierra Castellanos

d7301372@unimilitar.edu.co

Diana Victoria Páez Duque

d7301890@unimilitar.edu.co

Resumen

Este documento parte de la necesidad de aprender sobre los aisladores sísmicos, que se han venido utilizando en diferentes estructuras a nivel mundial y con resultados increíbles, que ayudan al ingeniero a cumplir en su deber de mejora en la calidad de vida de la comunidad disminuyendo riesgos frente a un sismo y al mismo en la reducción de costos por mantenimiento.

Para la elaboración de este estudio se realizó la revisión ordenada de variedad de artículos entre tesis, estudios y patentes; en su mayoría en idioma español donde se analizan diferentes aspectos que intervienen en la utilización de aisladores. Esta literatura se recopiló de fuentes confiables como las diferentes bases de bibliotecas y google académico. La información contenida fue extraída de la lectura exhaustiva de los diferentes documentos donde se buscó información precisa y puntual, una vez realizada la lectura procedemos a realizar los resúmenes con la información más importante de cada uno de los artículos, además de la información escrita se acompaña de imágenes que brindan claridad a algunos conceptos complejos acerca de la temática de estudio.

El comportamiento estructural de un edificio requiere una evaluación después de movimientos sísmicos severos. Por esta razón, se han desarrollado tecnologías de aislamiento sísmico y disipación de energía. Estas tecnologías han demostrado ser adecuadas para estructuras

y su comportamiento es efectivo. Se utiliza para diseñar nuevas estructuras, mejorar y reparar estructuras existentes.

Palabras clave: aisladores sísmicos, daño, comportamiento estructural.

Abstract

This document starts from the need to learn about seismic isolators, which have been used in different structures worldwide and with incredible results, which help the engineer to fulfill his duty to improve the quality of life of the community, reducing risks. in the face of an earthquake and in reducing maintenance costs.

For the preparation of this study, an orderly review of variety of articles was carried out, including theses, studies and patents; mostly in Spanish language where different aspects involved in the use of insulators are analyzed. This literature was compiled from reliable sources such as the different library bases and academic google. The information contained were extracted from the exhaustive reading of the different documents where precise and punctual information, once the reading is done we proceed to make summaries with the most important information of each of the articles, in addition to the written information it is accompanied of images that provide clarity to complex concepts about the subject area were added.

The structural behavior of building requires an evaluation after severe earthquakes. For this reason, seismic isolation and energy dissipation technologies have been developed. These technologies have proven to be suitable for structures and their behavior is effective. It is used to design new structures, improve and repair existing structures.

Key words: seismic isolators, damage, structural behavior,

Introducción

Este artículo busca ser una guía de consulta frente a los aisladores sísmicos, que en la actualidad ganan terreno en el tema de la construcción y cálculo estructural; es un artículo que facilita la consulta, contiene la información más importante de 50 documentos consultados entre los que se encuentran artículos de estudios, patentes y resultados del uso de estos dispositivos.

Desde la lectura de los artículos, se organizó un resumen por similitud de temas para dar una estructura al documento y se transforma en una guía para los estudiantes que deseen investigar sobre los Aisladores sísmicos. Buscamos que la lectura de este artículo sea de fácil entendimiento debido a que los textos originales tienen conceptos bastante complejos.

La humanidad ha avanzado a pasos agigantados en todos los campos donde interviene el hombre, para nuestro caso de estudio los aisladores sísmicos. Este término se viene utilizando aproximadamente hace unos 20 años, su uso en las estructuras no es muy frecuente a pesar del sin número de estudios, análisis y pruebas que han hecho. La experiencia sobre el uso de estos dispositivos es satisfactoria ya que ha cumplido con las expectativas de diseño y refuerzo estructural, a pesar de aumentar los presupuestos en la construcción el resultado en cuanto a protección de vidas y la reducción de costos en reparación hace que la implementación de estos dispositivos comience a ganar terreno.

El principal objetivo de los aisladores sísmicos en las estructuras es asegurar que la energía sísmica que se transmite a través de la estructura sea reducida para que el daño en ésta sea mínimo. La principal ventaja del aislamiento sísmico es asegurar la función de la estructura antes, durante y después de eventos extremos; se puede reemplazar la pieza sin generar traumatismos en la estructura, en cambio, sí se debe reparar algún componente de la estructura que haya sufrido algún inconveniente esto es mucho más complejo.

Mejorar la respuesta estructural es un desafío que se viene dando hace más de dos décadas, pero se han venido presentando avances con dispositivos mecánicos, instalados en la base estructural disipando la energía de los movimientos sísmicos, o adicionados en la estructura misma para ampliar el amortiguamiento o corregir problemas estructurales. El aislamiento sísmico de base, donde la estructura está puesta directamente sobre un conjunto de elementos flexibles, filtrando la señal sísmica mediante un sistema resonante de baja frecuencia, estos dispositivos deben ser lo suficientemente resistentes para sobrellevar los esfuerzos y desplazamientos a los que serán sometidos durante un sismo. En los diseños estructurales es importante tener en cuenta la situación sísmica de la zona, para garantizar un buen diseño acorde al medio en que se pretende llevar a cabo.

Debido a la falta de empresas que elaboren este tipo de dispositivos en el país, algunas universidades se han dedicado a la investigación y en unión con empresas que tienen la experticia en la elaboración de aisladores (Jaramillo-Fernández, J. D. & Gélvez-Gélvez, G. Marzo, 2020), han dado a conocer un prototipo de aislador con resortes y amortiguadores que trabaja de forma similar a la suspensión de un vehículo para estructuras esbeltas. Este prototipo está basado en las subestaciones eléctricas de alta tensión, cuya necesidad es proteger los elementos.

Las normas actuales permiten diseñar estructuras acordes a sismos extremos, la posibilidad de deformación cíclica en las estructuras sin que se presenten daños considerables, es el principal fundamento en el diseño sismo resistente, dependiendo de las características de los materiales y principalmente de la forma en que se diseñe los componentes estructurales, siendo debidamente verificados con la finalidad de consolidar la estructura y la exigencia sísmica no exceda la limitante estructural.

Los sistemas de aislamiento base son de las tecnologías de mayor uso e implementación en el mundo, contribuyendo a la protección de vidas humanas y mitigando los perjuicios estructurales que se producen en las edificaciones durante los terremotos. La implementación de los sistemas de aislamiento en países emergentes como lo es Colombia, es muy complejo por los altos costos de importación siendo la principal causa de su aplicación precaria en el país. Los sistemas de aislamiento reforzado en conjunto con la tecnología local excluyen los costos de importación lo que brinda oportunidad de implementar estos sistemas en edificios de baja altura.

Colombia siendo un país de alta actividad sísmica, rara vez ha implementado los sistemas de aislamiento en su infraestructura, en el año 2016 solo tres edificios fueron aislados para su uso especial (educación y salud). En Colombia el uso de estos sistemas se relaciona con dos aspectos, el primero se refiere al tipo de dispositivo de aislamiento más común es el acero elastómero multicapa reforzado (SREI) (Buckle, I. G., 2000), pero debido a su alto costo de producción y su peso genera sobre costos. El segundo hace precisión a la falta de empresas manufactureras en el país, situación que genera la importación de los dispositivos aumentando el valor final del aislador (Moon, B. Y., Kang, G. J., Kang, B. S., Kim, G. S., & Kelly, J. M., 2003).

En las universidades se imparte el conocimiento estructural en función de las matemáticas y la física, pero para el estudiante es más útil y necesario visualizar las razones por las cuales se desarrollan fenómenos como la resonancia, la funcionalidad de los sistemas de aislamiento, amortiguamiento y control sísmico. Para lograr que el estudiante conozca visualmente el desarrollo de estos fenómenos referidos a la respuesta con el comportamiento de las estructuras en eventos sísmicos, se recurre a las prácticas de laboratorio, con instrumentos y equipos adecuados.

Los estudios que se han hecho durante los últimos años, tienen por objetivo conocer las debilidades y fortalezas de dichos elementos constructivos, pero a su vez buscar el equilibrio

económico para que su utilización sea más frecuente en las obras de infraestructura. Aunque se han obtenido resultados importantes, se han hecho propuestas de mejora, el inconveniente aún sigue siendo el económico, no hay muchas empresas que fabriquen los aisladores sísmicos, y el costo de importación hace imposible su utilización en las obras. Panamá presenta avances en el uso de aisladores sísmicos en edificios, el país importa la tecnología de diseño y construcción para proteger la infraestructura del país. En Panamá se utiliza a gran escala el sistema pasivo debido a que son aisladores de relativa simplicidad y bajo costo (Pittí, R. B., & Rogelio, B., 2013).

El sistema de aislamiento sísmico ha sido desarrollado y puesto en funcionamiento en más de 12.000 proyectos de construcción y su funcionalidad ha sido demostrada durante actividades sísmicas alrededor del mundo.

Ha sido un poco complejo encontrar documentos de investigación en español sobre los sistemas de aisladores, debido a que, en nuestro continente y país, estos sistemas han sido poco implementados en virtud de carencia de fondos económicos y bajas tasas de investigación en el continente por parte de los gobiernos, estos estudios son muy escasos y si se implementan los sistemas de aisladores, los costos son muy altos debido a que se deben importar las materias primas.

El documento está organizado comprensiva en los siguientes elementos: primero se explica la naturaleza de los aisladores sísmicos y para que se usan, posteriormente se recopilan algunas experiencias diferenciando según tipos de aisladores y de aquí se desprende información tal como materiales, estudios, pruebas que se han realizado durante los 20 años aproximadamente de su primer uso. Finalmente, en la última sesión del documento se presentan las conclusiones. Para realizar el artículo fijamos los siguientes objetivos los cuales se cumplieron a cabalidad:

Realizar una explicación abreviada, y concisa sobre los puntos más importantes de la información recopilada.

Estructurar la información de forma clara aprovechando los contenidos artículos analizados.

El propósito principal de los aisladores sísmicos en la estructura es asegurar que la energía sísmica transmitida a través de la estructura se reduzca para minimizar el daño a la misma.

Realizar revisión bibliográfica e indagar sobre el uso de los aisladores sísmicos para tener una comprensión más clara de las funciones de las funciones de estos dispositivos.

Describir aisladores sísmicos e identificar posibles ventajas en el desplazamiento y la tensión al implementar estos sistemas.

Describir los tipos de aisladores sísmicos e identificar posibles ventajas en el desplazamiento y la tensión al implementar estos sistemas.

Presentar las características de los aisladores sísmicos y los tipos de materiales que se emplean para su fabricación.

Marco teórico

Aislamiento Sísmico

Deducir la ejecución de los sistemas de aislamiento es oportuno reseñar cómo se originan los terremotos. Dado que el continente que conocemos hoy, es solo un continente llamado Pangea en la antigüedad, se puede determinar en estudios geológicos que el continente comenzó a fracturarse y formó los continentes de Laurasia y Gondwana. Estos continentes

ocuparían los hemisferios norte y sur y luego se dividirán en los continentes África, Asia y América, Europa y Oceanía.



Figura 1. Instituto de Geología de la UNAM (2020). Tomada de <http://www.geologia.unam.mx/contenido/la-teoria-de-la-tectonica-de-placas-y-la-deriva-continental>

La capa exterior de la tierra es la corteza y el manto formando una capa muy fuerte y fría llamada litosfera, que presenta el proceso de convección dentro de la tierra, y por lo tanto se destruye y regenera dentro de los límites de la tierra. La litosfera está compuesta por siete placas, la placa de América del Norte, América del sur, Pacífica, africana, Euroasiática, Australiana y Antártida

Los sismos disipan una gran cantidad de energía debido a los límites de las placas y a las fallas, las ondas sísmicas causaran ondulaciones horizontales y verticales, las ondulaciones horizontales son las más destructivas para la estructura, otros factores que se deben tener en cuenta son:

Fuerza Lateral: es la que mayor daño ocasiona a la estructura, y es proporcional al peso de la estructura, siendo esta la mayor deficiencia que se debe considerar en la selección de materiales y conectores (principalmente en edificios de gran altura).

Fuerza Horizontal: de acuerdo con su rigidez, se distribuye entre los componentes vertical y horizontal del sistema, y el edificio se tensiona como una viga vertical en voladizo.

El aislamiento sísmico es muy sencillo: “precisa disminuir las fuerzas generadas durante un sismo en una estructura, mediante el aumento en su periodo o amortiguar el sistema mediante el acoplamiento de estas dos variables”.

Los aisladores sísmicos tienen cuatro funciones fundamentales: transmitir la carga vertical, aislar la parte apoyada sobre el sistema, suministrar rigidez para cierto nivel de cargas, introducir amortiguamiento adicional en el sistema. En el momento de presentarse un sismo, las estructuras que no cuentan con sistemas de aisladores están sujetas a presentar deformaciones que pueden causar daños serios, en cambio, una estructura aislada oscila prácticamente como un cuerpo rígido con grandes deformaciones o desplazamientos soportados por el sistema de aisladores, dividiendo las fuerzas laterales de forma equitativa.

Los aisladores sísmicos son elementos elastómeros empleados en la estructura, generando flexibilidad y minimizando los daños por sismos. Las primeras técnicas utilizadas como sistemas de aislamiento sísmico fue utilizar diferentes capas de piedras en la base de la estructura, la implementación de capas de arena, el uso de piezas de madera como apoyo, piedras entre el suelo y las paredes.



Figura2. Aislamiento sísmico compuesto por troncos de madera entre la columna y la arcada (2020).
Tomada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pilier_ancier_Alger.png

Aisladores Sísmicos ¿Porque Funcionan y Son Efectivos?

El aislador sísmico tiene gran capacidad elástica, el cual es establecido entre la estructura y la cimentación, disminuyendo la cantidad de movimientos a la estructura cuando se presente un movimiento sísmico, en la base de las estructuras que no cuentan con este dispositivo, las cuales son designadas como estructuras de base fija, se generan repetidamente vibraciones y si el sismo es muy intenso puede afectar de manera importante la estructura; el aislador atenúa las vibraciones y permite un mejor comportamiento estructural.

Los aisladores alteran las características dinámicas de las estructuras, por su alta flexibilidad el periodo de vibración estructural se amplía, esta etapa de vibraciones altas, promedian valores bajos de aceleraciones, por lo tanto, las fuerzas provocadas a lo largo del sismo sobre la estructura se reducen considerablemente. Las deformaciones aumentan, pero se agrupan en el dispositivo sísmico y la estructura percibe deformaciones menores. Los aisladores suavizan el impacto de la energía generada por el sismo causando un efecto de mitigación en la estructura.

Los dispositivos sísmicos están pensados para no transmitir los movimientos horizontales que se producen en la base de la estructura durante un sismo. Los aisladores no están diseñados para separar movimientos verticales, pues las vibraciones verticales que se dan en el evento

sísmico son menores que las vibraciones horizontales, y las estructuras son proyectas con alto grado de rigidez y tolerancia a cargas verticales, debido a que deben soportar las cargas gravitacionales.

Los aisladores sísmicos tienen importantes utilidades, no obstante, se pueden presentar efectos torsionales de la estructura sobre los aisladores (puede dificultar el uso de aisladores); alteraciones de las vibraciones en la interacción suelo - estructura; impacto de la temperatura; la posibilidad de que ocurra tracción sobre los aisladores por volcamiento en la estructura; las exigencias que deben sobrellevar las uniones flexibles de tuberías y otros sistemas.

Estado Del Arte Sobre Sistemas De Aislamiento Sísmico

En el ejercicio por reducir los daños que producen los temblores ha conducido al desarrollo de equipos y elementos que se introducen en las estructuras para realizar mejoras en sus propiedades dinámicas y ampliar la capacidad de disipación de energía.

Existen cuatro sistemas principales de dispositivos de control pasivo desarrollados: disipadores de energía, aisladores de base, osciladores resonantes, cables de presfuerzo.

Disipadores de energía: cambian la rigidez de la estructura y buscan concentrar en ellos la mayor parte de la disipación de energía. Los disipadores de energía son una alternativa factible para mermar posibles daños en los movimientos sísmicos, pero se debe realizar una comparación en su comportamiento con otros sistemas opcionales, donde se permita observar y elegir cual tiene mejores características, cual es más factible tanto económicamente como en su función estructural. En consecuencia, por su particularidad para disipar la energía es más favorable su aprovechamiento para edificios pequeños y sean de mediana altura.

Aisladores de base: son componentes que se sitúan entre la cimentación y el edificio para intentar aislar el movimiento del terreno del de la súper estructura. La funcionalidad más importante de los aisladores de base es flexibilizar a la estructura, la esbeltez es un factor que

limita su uso debido a los momentos externos que se desarrollan en la base de la estructura y a los movimientos laterales, no es recomendable utilizarlos en zonas blandas como en las costas del pacífico.

Oscilador resonante: es una o varias masas adicionales ubicadas mayoritariamente en el último nivel de la estructura, con ciertas propiedades dinámicas que reducen la respuesta de la estructura. El oscilador resonante es un sistema prominente para las estructuras que tengan comportamiento lineal, los estudios actuales permitirían definir la aplicabilidad del sistema. Con el fin de ampliar la eficiencia del sistema, sería necesario sumarle disipadores de energía o permitir demandas de ductilidad pequeñas en la estructura cuando esté sujeta a movimientos sísmicos de gran magnitud.

Cables de presfuerzo: aumentan la resistencia de la estructura e incrementa la carga axial en las columnas minimizando los giros en sus extremos en varios casos. Los cables de presfuerzo son una alternativa para estructuras pequeñas y de altura mediana y de temblores de mediana magnitud, estos cables contribuyen a mejorar la rigidez, resistencia y mejorando el comportamiento sísmico estructura.

Los sistemas de control pasivo en nuestro país tienen grandes desventajas con los sistemas de control pasivo, debido a su elevado costo y al constante mantenimiento que necesitan, pero son más competentes en controlar el movimiento de la estructura. Han estudiado casos y a la conclusión que han llegado es que el edificio debe ser un edificio operacional después del sismo, y es donde se propone el uso de tecnologías que minimice riesgos (Pittí, R. B., & Rogelio, B., 2013). En estas nuevas tecnologías encontramos cuatro sistemas de control:

- Sistemas pasivos: se utilizan algunos dispositivos bastantes simples en el sistema, que reducen la respuesta dinámica por medios mecánicos. Por ejemplo, absorbedores de energía.

- Sistemas activos: en este sistema el equipo que genera la fuerza de control se utiliza para modificar la respuesta dinámica de la estructura. Por ejemplo, osciladores de masa activa.
- Sistemas híbridos: es una combinación del sistema pasivo y activo, donde el objetivo principal es mejorar la eficiencia del control estructural.
- Sistemas semi-activos: en este sistema la característica principal es que no aplican fuerzas de control a la estructura, pero al mismo tiempo reducen la respuesta de la estructura a los terremotos.

La filosofía del diseño de estructuras debe cumplir tres puntos claves:

- Si el sismo es leve no tiene por qué afectar la estructura
- Si el sismo es moderado puede afectar la estructura, pero serán daños que se puedan fácilmente arreglar
- Si el sismo es fuerte afecta la estructura, el daño es significativo, pero no debe causar muertes

A fines de los años sesenta y principios de los setenta, el llamado diseño de capacidad se utilizó en el diseño estructural, su aceptación fue mundial. En las estructuras siempre existirán puntos frágiles y bajo esta metodología el diseñador puede decidir dónde ubicarlos de manera tal que ante un sismo no represente ningún peligro ni para la estructura ni para los habitantes; estos puntos frágiles actúan como fusibles dúctiles y su función es permitir que la estructura se desplace lateralmente sin colapsar.

Recordemos que la ductilidad se define como la capacidad de deformación de un material. Es decir, que durante el sismo la energía de este se concentra en las articulaciones plásticas y estas absorben la energía del movimiento la absorbe y la disipa, lo que lleva a que el posible daño después del sismo se concentre en pequeñas regiones ubicadas estratégicamente

por el diseñador. A pesar de esta situación si el sismo es demasiado fuerte, la estructura sufrirá daños permanentes y difíciles de remediar.

Esta filosofía de diseño se conoce como la ingeniería sísmica basada en desempeño, la reconoce como la suma de elementos en un diseño cuyo objetivo es obtener niveles de respuesta muy predecibles ante un sismo con niveles muy específicos.

Al pasar los años esta metodología ha tenido algunos inconvenientes, para los ingenieros que no trabaja esta forma de diseño la propuesta no contempla todo lo que busca un cálculo de diseño estructural.

Experiencias Sobre Aislamiento Sísmico En Colombia

Debido a la ubicación geográfica de Colombia donde se presenta alta amenaza sísmica, las construcciones han tenido que ser modificadas y replanteadas para salvaguardar vidas (Suárez, et ALL, 2014), para esto los ingenieros han tenido que reevaluar el diseño de las estructuras y proponer aisladores sísmicos cuyo objetivo principal es reducir el impacto del sismo y de esta forma, minimizar los riesgos de colapso o daño en la estructura. Las principales fallas geológicas del país se encuentran ubicadas en su mayor extensión en territorio urbano (Suárez, et ALL, 2014), es decir edificios, vías, colegios, puentes están en constante peligro y como resultado la ingeniería trabaja para evitar tragedias a gran escala.

El aislante se elige de acuerdo con la estructura teniendo en cuenta las necesidades (Suárez, et ALL, 2014). El diseño de estructuras sísmicamente aisladas está regulado por el estándar AASHTO (Suárez, et ALL, 2014), se debe tener mucho cuidado al cuantificar el incremento en los periodos de vibración y el comportamiento estructural y de esta forma saber cuántos y cada cuanto se ubican los aisladores sísmicos para una mayor resistencia al momento de presentarse un sismo.

En las estructuras de los puentes los aisladores son utilizados entre la superestructura y la infraestructura; en el país se han venido utilizando de acuerdo a las características del entorno

tales como suelo, trazados y otras particularidades que se deben tener en cuenta al momento del diseño (Suárez, et ALL, 2014).

Algunas estructuras que utilizan en la actualidad aisladores sísmicos en Colombia son: Viaducto Portachuelo (Zipaquirá), Intersección vial Redoma San Mateo (Cúcuta) (Suárez, et ALL, 2014).

Los aisladores sísmicos fueron utilizados en el país por primera vez en el puente ubicado en la Carrera 44 autosur en la ciudad de Cali estos aisladores sísmicos fueron hechos de soportes de elastómero de núcleo de plomo. Una vez se conocen los resultados, se puede proponer un diseño de puente que cumpla con el código de diseño sísmico del puente Colombia (CCDSP-95) hasta la fecha.



Figura 3. Apoyo elastómero (2020). (S. f.). [Ilustración]. Verdú - The global rubber technical service. Tomada de <http://www.cauchoverde.com/pag/es/5/apoyos-elastomericos-y-pot>

En los puentes funcionan los apoyos convencionales de neopreno, estos se utilizan en estas estructuras debido a que soportan cambios de temperatura, fuerzas de frenado Betancour, N., & Galvis, F., 2015).

Se evidencia que al usar los aisladores se logró un amortiguamiento estructural del 20% y se obtuvo una reducción en la fuerza sísmica del diseño del 57% en sentido transversal y 63% en longitudinal (Betancourt, N., & Galvis, F., 2015).

El diseño de la estructura de aislamiento sísmico está regulado por los estándares AASHTO. 2014. AASHTO LRFD AASHTO. 2010. Guide Specifications for Seismic Isolation

Design. El uso de aisladores sísmicos aumenta la amortiguación de la estructura y reduce significativamente la cortante basal y regulan en cierto porcentaje el comportamiento de la estructura (Betancourt, N., & Galvis, F., 2015).

Debido a la ubicación geográfica colombiana, un 85% de la población se encuentra vulnerable a la presencia y daños de un sismo (Betancourt, N., & Galvis, F., 2015). La norma (CCDSP-95) proporciona pautas para el diseño y la construcción de edificios, incluidos los tipos de materiales y los métodos de trabajo que deben llevarse a cabo. Las técnicas convencionales en la norma intentan controlar la respuesta de un edificio ante la amenaza de sismo, es decir, la combinación de resistencia, capacidad de disipar la energía y la rigidez de la estructura (Betancourt, N., & Galvis, F., 2015).

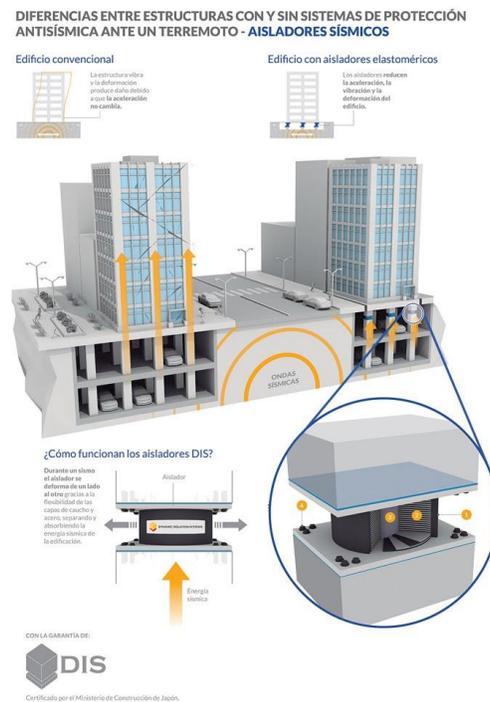


Figura 4. Diferencias entre estructuras con y sin aisladores (2020). (s. f.). [Ilustración]. Detek Internacional, S.A. de C.V. Tomada de <https://www.detek.com.mx/automotriz/construccion/aisladores-s%C3%ADsmicos>

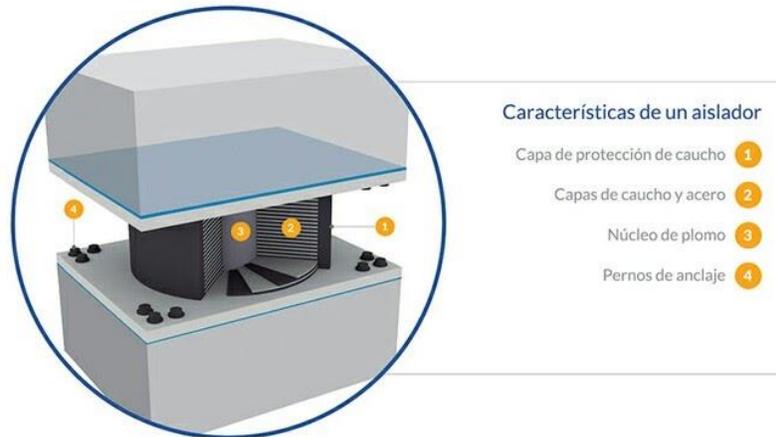


Figura 5. Características de un aislador (2020). (s. f.). [Ilustración]. Detek Internacional, S.A. de C.V. <https://www.detek.com.mx/automotriz/construccion/aisladores-s%C3%ADsmicos>

Análisis Estructural y Costos De Edificios Con Aisladores Sísmicos

Uno de los primeros edificios construido con aisladores sísmicos se encuentra en la ciudad de México, en 1974, a pesar de los fuertes sismos que ha sufrido la ciudad este no ha presenta daños de consideración (Sosa & Ruiz, 1992).

Los estudios buscan analizar los costos iniciales y la respuesta sísmica de dos edificios de 5 niveles que tienen en la estructura aisladores sísmicos, la diferencia es que uno tiene periodos de vibración dominante intermedio y el otro dominante corto. Es importante al momento de hacer la propuesta de diseño estructural tener presente el estudio de suelos donde nos indica los periodos de vibración, (Sosa, & Ruiz, 1992).

Estos dos edificios fueron diseñados bajo la norma sismo resistente de la ciudad de México, construidos, pero uno de ellos tiene adicionalmente aisladores disipadores sísmicos; en los resultados de este ejercicio se evidenció que las fuerzas cortantes se redujeron en la mitad aproximadamente, pero los costos se incrementaron cerca de un 6% (Sosa, & Ruiz, 1992).

Cuando ocurre un sismo por lo general tienen una reacción que muestra un comportamiento inelástico no lineal y el resultado de este movimiento son los daños (Sosa, &

Ruiz, 1992), durante muchos años se han hecho estudios y propuestas de diseño para minimizar daños pero que al mismo tiempo sea una construcción viable económicamente.

Tipos De Aisladores Sísmicos: Elementos Típicos

Sistemas de Control de Vibraciones

La iniciación del uso de la técnica de aislamiento y disipación de energía se producen en las primeras décadas del siglo pasado (Den Hartog,1947) incorporándose en la industria automotriz y aeronáutica, pero su implementación en la Ingeniería Civil se da en el año 1970 (Gerbaudo, 2006). Si no se requiere disipación de energía, se utilizan cojinetes de goma de baja amortiguación (LDRB). Si se requieren niveles moderados de amortiguación, se pueden usar aisladores con caucho de alta amortiguación. Cojinete de goma de alta amortiguación (HDRB). Para una amortiguación alta, hay aisladores con cojinetes de caucho con núcleo de plomo (LCRB), estos son similares a los LDRB, pero tienen un núcleo de plomo en el medio.

Durante un terremoto en los aisladores sísmicos de primera generación sus patines se deslizan sobre la superficie cóncava y producen pequeños movimientos en la dirección de las ondas sísmicas; la fricción crea suficiente amortiguación para minimizar la energía del terremoto física como económicamente.

Estos sistemas han sido clasificados en dos grupos (Soong y Constantinou, 1994):

| SISTEMAS DE CONTROL PASIVO | | SISTEMAS DE CONTROL PASIVO |
|--|--|---|
| Aisladores Sísmicos | Disipadores de Energía | Control Activo |
| Aisladores elastomericos | Disipadores Friccionales. | Sistemas de arriostramientos diagonales. |
| Aisladores elastomericos con núcleo de plomo. | Disipadores Metálicos (Gerbaudo, 2006). | Sistemas de masa Sintonizada (TMD) |
| Aisladores elastomericos con dispositivos de disipación de energía. | Disipadores Visco elásticos. | Sistemas de masas y rigidez variable. |

| Péndulo de Fricción. | Disipadores Viscosos. | Sistemas de Pulso. |
|---|---|-------------------------------|
| Apoyos de placas deslizantes con dispositivos de disipación de energía. | Amortiguadores de líquido sintonizado. | Sistemas Aerodinámicos |
| Apoyos deslizantes lubricados con dispositivos de disipación de energía. | Amortiguadores de masa sintonizados. | |

Tabla 1. Clasificación Sistemas Control de Vibraciones. Elaboración propia

Los Sistemas De Control Activo

Son sistemas que utilizan sensores, actuadores y controladores para controlar el comportamiento estructural de los efectos externos dinámicos en tiempo real a través de las fuerzas de control. La única dificultad que tienen es que es necesario tener una fuente alterna de alimentación exterior para su funcionalidad, debido a que en la mayoría de los casos los sismos provocan caídas de postes, fallas de energía, provocando que estos sistemas dejen de funcionar en el instante que se dé el movimiento telúrico, y su mantenimiento y vigilancia generan sobre costos (Spencer y Soong, 1999; Ivet Anguelova, 2020).

Estos sistemas son muy utilizados por su fiabilidad, sencillez y eficacia, ya que pueden absorber la aceleración de la estructura y reducir la deformación del suelo y minimizar el desplazamiento máximo de la base. (Kareem et al, 1999)

Los sistemas pasivos son los más utilizados con bajo costos y tienen las siguientes ventajas: al ser activados por excitación, no requieren energía externa y se pueden implementar tanto en edificios nuevos como edificios existentes. En este sistema existen dos tipos de amortiguadores, aisladores sísmicos y disipadores sísmicos de energía, la diferencia radica en como disipan la energía sísmica en la estructura.

El sistema debe estar ubicado en un lugar de fácil acceso para realizar el mantenimiento correspondiente, pudiendo ser cambiado incluso en el caso de fallas del equipo, y si el equipo es

metálico, los sumideros de energía según las características del equipo se pueden empotrar en la base superior o inferior o si el amortiguador está ajustado a TMD se instalara en la parte superior del edificio (Den Hartog, 1947)

Este método puede reducir la deformación del piso y la aceleración causada por la estructura. La función del sistema se basa en aislar la estructura del movimiento peligroso generado por el suelo, y al adherirse a estos sistemas para fortalecer la estructura o la amortiguación en la estructura, puede ser más efectivo (R.W.K. Chan, Y.S Lin, Tagawa 2019)

Aisladores elastomericos: son dispositivos que mezclan un material flexible, una capa cilíndrica de elastómero natural o sintético y una capa de acero. La capa con material elástico producirá la deformación horizontal necesaria, mientras que la capa de acero producirá el efecto de resistir la carga vertical, aumentando así la rigidez vertical del mecanismo.

Los aisladores de elastómero de núcleo de plomo tienen ciertas características porque permiten una mayor deformación, tienen un comportamiento elastoplástico, mantienen la calidad de la resistencia y proporcionan valores de disipación de energía durante múltiples ciclos de deformación plástica, lo que resulta en una disipación de energía (Genatios, Lafuente, 2016).

El diseño de los aisladores de apoyos de caucho HDRB de alto rendimiento, están diseñados agregando aditivos como resina y aceite al caucho natural, y su capacidad para disipar energía aumenta en un 10% – 20%. El núcleo de plomo puede disipar del 25% al 30% de la amortiguación crítica, mientras que el núcleo de goma puede proporcionar un 12% de amortiguación.

Se pueden organizar de la siguiente manera:

- *Soportes de goma natural: (NRB: natural rubber bearing).*

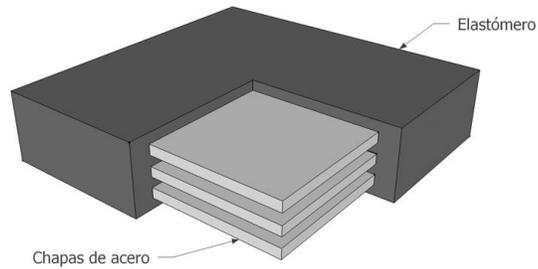


Figura 6. Apoyos de goma natural (NRB: natural rubber bearing) (2020). (s. f.). [Ilustración]. Cymper.com. Tomada de <https://www.cymper.com/blog/apoyos-elastomericos-cosas-que-debes-saber/>

- Soportes de goma de baja amortiguación (LDRB: low – damping rubber bearing)



Figura 7. Aislador sísmico de alto amortiguamiento (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19088/2019luzaficano1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Soportes de goma de alto amortiguamiento (HDRB: high – damping rubber bearing)



Figura 8. Aislador de Alto Amortiguamiento LASTO®HDRB (2020). (s. f.). [Ilustración]. mageba. Tomada de <https://www.mageba-group.com/global/data/docs/es/2573/PROSPECT-LASTO-HDRB-int-es.pdf?v=1.1>

Aisladores Deslizantes:

- Sistema de fricción pendular (FPS: friccional pedulum system)

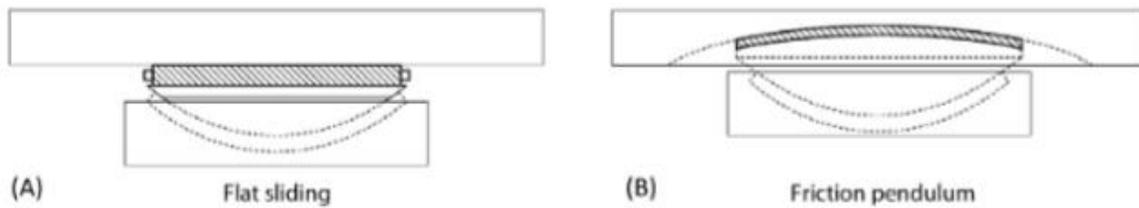


Figura 9. Amortiguador deslizante Amortiguador tipo péndulo de fricción (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En Lago Trabucco Wood 2019.

- *Apoyos basculantes*

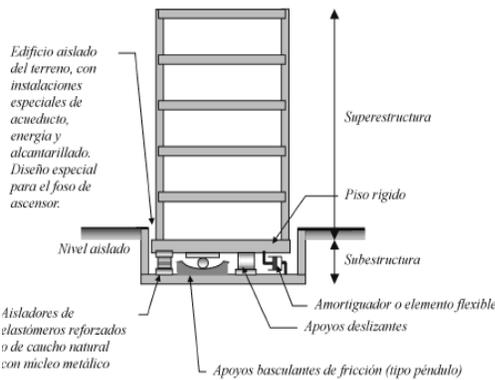


Figura 10. Oviedo, J. A., & D, M. P (2020). (s. f.). *Apoyos basculantes* [Ilustración]. SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES. Tomada de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010

Aisladores de Deslizadores Friccionales o Basculantes

Este es el segundo tipo de aislador sísmico existente, cuya gestión consiste en reducir la aceleración y las fuerzas externas mediante elementos deslizantes con un coeficiente de fricción determinado, y como se mencionó anteriormente, se ubican entre la estructura y la cimentación

Método Simplificado Para el Análisis Sísmico de Estructuras con Aisladores fps de Tercera Generación

Se conocen varios tipos de modelos en el campo de los cálculos estructurales, que definen el comportamiento no lineal de los aisladores de fricción de tres péndulos. Para el caso de estudio de los aisladores de tercera generación conocemos 3 generaciones (Espinel Jaramillo, G. R., & Herrera Flores, P. A., 2013):

Primera generación: estos aisladores son elaborados en acero inoxidable, se identifican porque tiene una superficie cóncava y otra recta, usa un patín y la platina

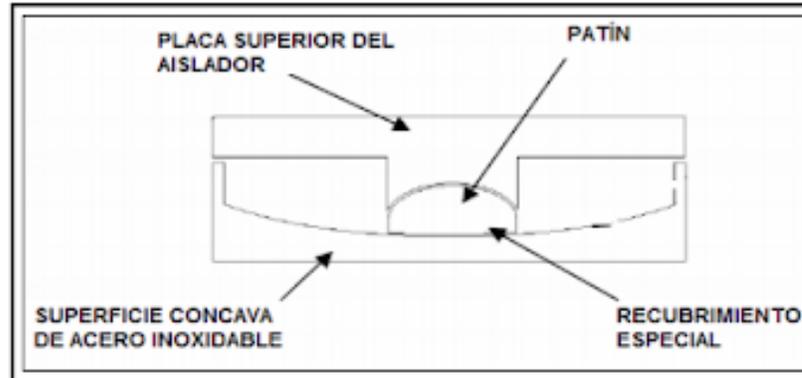


Figura 11. Espinel Jaramillo, G. R., & Herrera Flores, P. A. (s. f.) (2020). Aislador primera generación [Ilustración]. REPOSITORIO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA. Tomada de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6393/9.20.001296.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Segunda generación: las dos superficies con cóncavas, los radios de las curvaturas no necesariamente deber ser iguales.

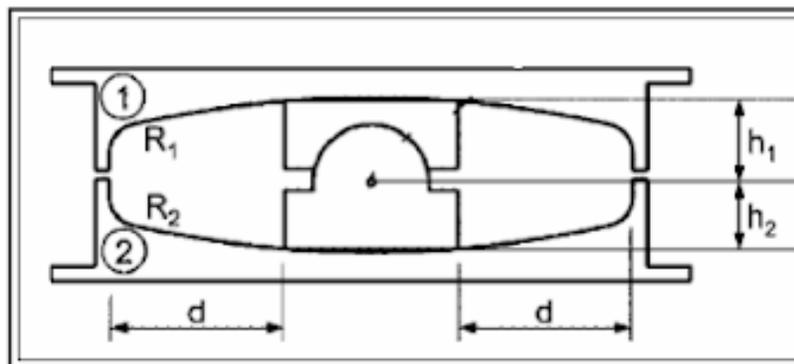


Figura 12. Espinel Jaramillo, G. R., & Herrera Flores, P. A. (s. f.) (2020). Corte Transversal de un aislador de segunda generación [Ilustración]. Tomada de REPOSITORIO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6393/9.20.001296.pdf?sequence=4&isAllowed=y>



Figura 13. Espinel Jaramillo, G. R., & Herrera Flores, P. A. (s. f.) (2020). Comportamiento de un aislador de segunda generación [Ilustración]. REPOSITORIO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA. Tomada de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6393/9.20.001296.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Tercera generación el aislador contiene otro aislador, y su tamaño es bastante compacto. Estos son los que tienen mejor respuesta ante un sismo, su construcción es bastante económica tamaño y esto permite mayor desplazamiento.

Este aislador utiliza la longitud efectiva del péndulo y el amortiguamiento, y de esta forma reduce el impacto de la onda sísmica al incrementar sus movimientos a medida que lo hace el suelo (Aguar, R., Morales, E., Guaygua, B., & Rodríguez, M., 2017)

El tamaño y el coeficiente de fricción son proporcionados por una calculadora, que se proporciona la empresa para fabricar el aislante. La empresa prueba y proporciona la curva de histéresis al ingeniero, que continúa verificando si se ha establecido de acuerdo con los parámetros iniciales (Aguar, R., Morales, E., Guaygua, B., & Rodríguez, M., 2017).

El método simplificado de Fadi y Constantinou (Aguar, R., Morales, E., Guaygua, B., & Rodríguez, M., 2017) es usado en aisladores FPS que pertenecen a la tercera generación y en los elastoméricos. Este método sugiere modelar el sistema de aislamiento con un sistema de grado de libertad. Para esto, se debe determinar la carga total que debe soportar el aislador, el número total de aisladores y el método de cálculo utilizado para definir la curva de histéresis.

SISTEMAS COMERCIALES UTILIZADOS PARA LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO

APLICACIONES DE CAUCHO RECICLADO

El método de reciclaje de caucho se basa en una mezcla de partículas finas en forma de elastómeros con aditivos orgánicos de bajo peso molecular, agentes de vulcanización y cargas minerales.

N° A15-01 Propiedades Mecánicas de Goma De Alto Amortiguamiento En Función De La Temperatura

Esta goma se utiliza en aislamiento de edificios y puentes, debido a su elasticidad y la buena respuesta que tiene cuando sufre presión. Para este análisis de la goma se construyó una máquina especial para medir las propiedades.



Figura 14. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas. (2005, 16 noviembre). PROPIEDADES MECANICAS DE GOMA DE ALTO AMORTIGUAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA [Ilustración]. Tomada de En artículo N° A15-01.

Para este caso se realizaron dos muestras de goma para tomar información acerca de la respuesta del material al ser sometido a diferentes presiones.

Varios ensayos previos evidenciaron que la propiedad mecánica de la goma además de depender de la amplitud y la frecuencia de la deformación, también es importante la historia de esta y el tiempo entre un ensayo y el siguiente. Cuando la goma no era sometida previamente a deformación tenía una rigidez mayor en un 7% aproximadamente y 3% menos que la goma que era sometida a un ablandamiento por deformación. Como conclusión casi el 100% de las gomas recuperaron las propiedades en un periodo de 24 horas en reposo, estas recuperan las propiedades en un 90%.

Otro factor que afecta las gomas es la temperatura, interviene en las propiedades mecánicas de estas. Las gomas que fueron sometidas a algún tipo de ensayo, el retorno de las propiedades iniciales es de 2 o 3 días de reposo. La temperatura afecta la rigidez cuando se aplica a deformaciones pequeñas. Cuando la goma es sometida a bajas temperaturas el comportamiento de la goma se ve afectado ya que puede sufrir el fenómeno de enfriamiento por cristalización para este caso la rigidez y el amortiguamiento aumenta, se considera frío cuando la temperatura es inferior a las 5°.

Los aisladores más usados son los que están compuestos de capas de goma y metal, su efectividad es bastante alta y confiable para el uso en estructuras.



Figura 15. Aislador sísmico a base de caucho (2020). (s. f.). [Ilustración]. AislaSismic21. Tomada de <https://www.continental.edu.pe/emprendimiento/project/tecnologia-antisismica-base-de-caucho-dirigidos-empresas-constructoras-en-la-region-junin/aislasismic21/>

Otra alternativa son los aisladores hechos de resortes helicoidales.



Figura 16. Aislador compuesto por de resortes y amortiguadores (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En Henao (2020)

Los cálculos estructurales se basan en rangos inelásticos que consisten en cálculos para sismos fuertes, y esta capacidad de deformación de las estructuras la conocemos como ductilidad. Esta capacidad depende de muchos factores, como el material de la estructura y su forma, que deben verificarse para garantizar que cumpla con la ductilidad mínima que cumpla el objetivo de retener la estructura. Los aisladores sísmicos entraron en uso en las estructuras aproximadamente hace dos décadas.

Comportamiento Experimental De Aisladores Sísmicos Sin Conexión Reforzados con Fibra De Poliéster y Fibra De Carbono

El objetivo principal de los aislantes es proteger vidas y minimizar el daño estructural. En este estudio se analizaron 2 tipos de aisladores pre-reforzados sin conexión con la estructura y no tienen núcleo de plomo.

Se realizaron prototipos en menor escala y estos fueron sometidos a ensayos de corte y compresión, y los resultados fueron similares en los dos ejemplares; cumplen con la normatividad de diseño. La fibra de poliéster es cinco veces más barata que la de carbono, y se convierte en un excelente material para el uso de aislamiento sísmico en el país, cumpliendo con las expectativas de precio y calidad gracias a su gran potencial.

La mayoría de aislamientos sísmicos son dispositivos pesados porque están reforzados con acero y sus costos son elevados. La diferencia entre estos dos aisladores además de sus materiales son el tipo de refuerzo, los fibro-reforzados no tienen conexión con la estructura y esto reduce los costos, peso y tiempo de elaboración e instalación.

Al someter los modelos a las diferentes fuerzas de corte y compresión se evidenció que al momento del movimiento horizontal del elemento este tiende a volcarse debido a que no tiene conexión con la estructura, como conclusión se eliminan las grandes zonas de tensión que recibe el aislador durante este movimiento; con las cargas de corte sucede que estas son transferidas por fricción únicamente.

Estos mostraron una rigidez tangencial positiva y un endurecimiento, lo que es positivo debido a que limita el desplazamiento lateral.

Evaluación de la capacidad de aislamiento de los soportes de neopreno no convencionales en función de la respuesta dinámica del puente

Se analizó la respuesta dinámica de soporte de neopreno convencional en puente. El análisis se lleva a cabo estudiando la capacidad de aislamiento de dichos soportes. Analizaron varias configuraciones dependientes de la rigidez de la estructura dependiendo del grado del sismo.

Se obtienen curvas de histéresis donde se valora la energía disipada y el amortiguamiento histérico. El aislante está compuesto de capas de acero entrelazadas y láminas de neopreno.

Desarrollo y Comportamiento Experimental de Aisladores Sísmicos hdr Para Edificios Residenciales de Baja Altura

El costo y el peso de los aisladores se pueden disminuir cambiando las placas de acero tradicionales con refuerzo de tela, (Kelly, J. M., & Konstantinidis, D., 2011). Este dispositivo es conocido como aislador elastomérico reforzado con fibra (FREI) que se puede obtener con fibra convencional como la del carbono, vidrio o nylon y fibras no convencionales como mallas de

plástico reforzadas con fibra de carbono y elastómeros reciclados derivados de neumáticos y restos industriales.

El modelo de conexión empleada entre los FREI y la estructura es una de las características que pueden modificarse, eligiendo entre condición unida o no anclado (condición no unida). En el primer caso, el aislador está enlazado a dos placas de acero que están fijadas de forma mecánica a los soportes, en el segundo caso estas dos placas se eliminan y el aislador es instalado entre los soportes superior e inferior sin restricciones mecánicas, disminuyendo peso, menores costos y facilidades en el proceso de instalación del aislador.

El desarrollo de cinco tipos de aisladores, los cuales fueron fabricados con materiales y tecnología colombiana para su eventual uso en viviendas de baja altura.

Caracterización Mecánica del Caucho

Como resultado de estas investigaciones se logró desarrollar un tipo de caucho natural de alta amortiguación (HDR), al cual si se le adiciona carbón, aceites y resinas logran aumentar en un 15% la amortiguación del dispositivo (Naeim, F., & Kelly, J. M., 1999). La formulación final del caucho se logró por medio de pruebas de dureza, compresión, corte y tensión.

Diseño y fabricación de prototipos

Los prototipos fueron diseñados para una estructura típica de cinco pisos de la Ciudad de Cali, esta estructura tiene un peso total de 43.200 KN con un periodo natural de 0.6 s en la conformación de la base fija y 2.5 en la base aislada, la hipotética ubicación de la estructura es la zona sísmica 1 de la ciudad, de donde la aceleración de diseño de $SM1 = 0,36 g$ que concuerda con un evento de periodo de retorno de 950 años (Council, B. B. S. S., 2003).

La estructura se presume compatible con 20 aisladores, cada uno soportando una carga vertical de 2161 KN y una rigidez objetiva de 1327 N/mm, deduciendo una relación de amortiguamiento del 10%. La deformación de corte de diseño del 150% y una presión vertical de 6.5 Mpa, una altura total de goma de 150 mm y 650 mm de diámetro para un aislador.

Una de las ventajas realizando una comparación entre Nylon y fibra de Carbono muestra que la placa de acero se puede reemplazar por una placa delgada. La producción de materiales de refuerzo flexibles produce aisladores de goma de bajo costo, lo que ahorra del 20% al 50 % en comparación con el Sistema de *aisladores* elastomericos *reforzados* con *acero* (SREI), lo que facilita el proceso de manipulación e instalación.

Patentes De Aisladores Sísmicos

Aislador Sísmico De Péndulo Deslizante

Hace referencia a un aislador sísmico pendular especialmente a un aislador sísmico pendular deslizante bidireccional que incluyen soportes convexos que son acoplados con superficies deslizantes cilíndricas cóncavas, este tipo de sistema son idóneos para superestructuras como puentes, edificios o en sus cimientos.

En el documento **DE-A-102005060375** presenta un aislador sísmico deslizante que comparte algunas características con el modelo anteriormente descrito, el cual incorpora un elemento aislante inferior y superior en forma de riel, que son perpendiculares entre si y sus superficies cóncavas cilíndricas son opuestas entre sí. Entre el elemento superior e inferior comprende dos elementos intermedios que fluyen a lo largo de las superficies cóncavas cilíndricas. La principal ventaja de este aislador es que el diseño de doble asiento cilíndrico, se puede dimensionar la junta entre los elementos deslizantes en forma de riel en función de las cargas reales, lo que beneficia en ahorro de material, ahorro en costos de fabricación.

Los materiales de fricción controlada más adecuados para aplicarlos en los aisladores son el acero inoxidable y elementos poliméricos (polietileno, resinas poliamidicas), así pues se obtienen diferentes coeficientes de fricción en las dos direcciones que se desplaza el aislador, mejorando el comportamiento sísmico en las dos direcciones de movimiento.

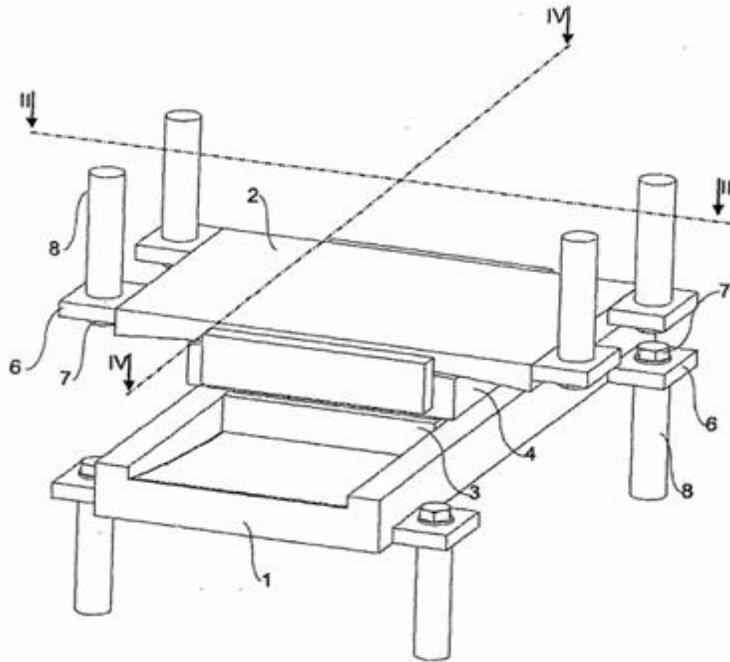


Figura 17. vista en perspectiva de un bidireccional aislador sísmico de péndulo deslizante según la presente invención (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En PATENTES DE AISLADORES SISMICOS.

Elemento Aislador Anti -Sísmico De Construcción

El documento IT1201302 describe un elemento modular que consiste en bloques de aglomerado conectados a una rejilla metálica ensamblada por barras verticales y horizontales, y cada bloque de aglomerado adyacente están conectadas mediante piezas especiales roscadas, formando una estructura metálica rígida que resiste la estructura del edificio.

Las varillas rígidas de un elemento aislador antisísmico de construcción, cumplen la función según el hallazgo, de soportar las fuerzas verticales generadas por la acción gravitatoria y las fuerzas horizontales producidas por un evento sísmico, y para poder cumplir con esta función deben estar hechas de materiales rígidos y resistentes, por ejemplo, materiales como el acero o el plástico con módulo de elasticidad en el Arango de 2 a 250 GPa y un límite elástico en el rango de 5 a 1000 MPa.

Un elemento aislador antisísmico de construcción según el descubrimiento dispone de un comportamiento diferente según las tres direcciones del espacio.

Las varillas según la investigación pueden estar preferiblemente en un tratamiento de anticorrosión y la variedad de las mismas es consecuencia de la repetición, con cambio de orientación espacial opcional de un patrón básico (50) de ubicación de las varillas. Las varillas del segundo conjunto están muy próximas o rozan a las varillas del primer conjunto, y las varillas (15a, 15b) tienen una sección transversal circular.

La base está hecha de polímero, se recomienda usar poliuretano, caucho, caucho reciclado o caucho poroso, lo que puede hacer que sea insonorizada y térmica, mejorar el rendimiento de la reacción y la resistencia al fuego.

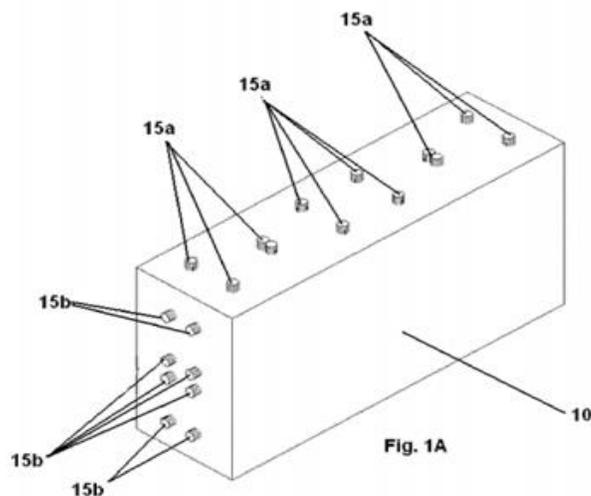


Figura 18. vista esquemática en perspectiva de un ejemplo de elemento aislador antisísmico de construcción de acuerdo con la presente invención (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En PATENTES DE AISLADORES SISMICOS.

Dispositivo De Aislamiento Para Estructura Esbeltas

En el documento EP2933815A2, se estudia el dispositivo de aislamientos sísmico utilizado en el sistema eléctrico de alto voltaje, y en este caso, el dispositivo de aislamiento tiene una estructura alargada. Este equipo está dividido en dos placas metálicas, una de las cuales está fijada en la base y la otra placa metálica está conectada a la parte inferior de la estructura, tiene 4 aisladores de cable, que distribuyen en forma de paralelogramo, lo que produce ángulos de 45° en los lados placas metálicas, pero existen dificultades para disipar energía, rigidez y

amortiguación, lo que resultara en ineficiencia bajo cargas continuas como el peso de la estructura misma.

El estudio realizado plasmado en el documento US5740216 difunde una estructura de aislamiento vertical logrando disipar sísmicamente en dirección vertical un reactor nuclear y sus componentes conectados, como tuberías, bombas, intercambiadores de calor, etc... Este sistema de aislamiento contiene: una pared de concreto y una variedad de aisladores sísmicos verticales (solo se pueden en esta dirección), operativos entre el muro de concreto y la plataforma. En estructuras esbeltas es primordial mitigar los movimientos horizontales porque estos movimientos podrían ocasionar fallas en la estructura.

Una de las características de la investigación hace referencia a las partes que conforman el dispositivo aislador de movimientos sísmicos las cuales son: un primer seguro el cual refuerza el primer extremo del operador elástico a la base, un segundo seguro amarra el segundo extremo del elemento elástico a la placa, un primer seguro y un segundo medio de fijación, este primer seguro de fijación traspasa el primer seguro y se conecta a la base., y el segundo medio de fijación atraviesa el segundo seguro y se conecta a la placa, estos seguros se fijan a los elementos mediante tornillos, pernos, pasadores, etc.

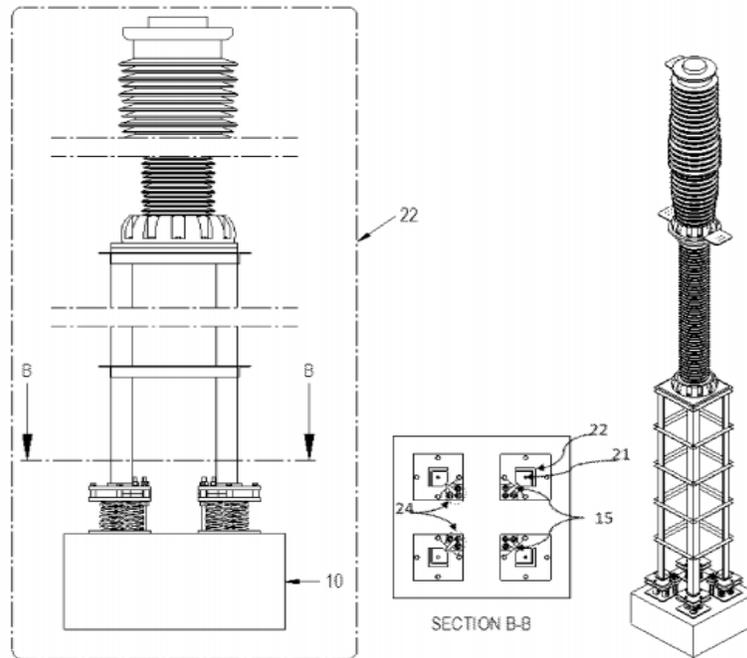


Figura 19. Modalidad de la invención. Cuatro dispositivos de aisladores sísmicos dispuestos en forma de paralelogramo (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En PATENTES DE AISLADORES SISMICOS.

Dispositivo De Aislamiento Sísmico De Un Objeto Soportado

La patente US-20060174555-A1 es un sistema de aislamiento sísmico pendular deslizante el cual distribuye el incremento de la fricción efectiva al aumentar la extensión de los desplazamientos laterales pero este sistema incluye algunas configuraciones que pueden interferir con las placas deslizantes en su desplazamiento lateral lo cual es inadecuado para la estructura en su rigidez.

Este cuerpo rodante está en contacto de rodadura con la cara interna de ambas placas (superior e inferior) o de uno elementos laminares que son más elásticos, lo que origina un amortiguamiento, y a su vez el sistema contiene algunos elementos más rígidos pegados a la parte superior o inferior de cada una de las placas, lo que permite aumentar el rendimiento dinámico de los amortiguadores.

Este sistema permite adaptarse a estructuras con grandes masas, disipando la energía mediante la instalación de barras de plomo en el centro del cilindro hueco, resultando de ello un soporte principal que rodea el aislador lo cual genera un sistema de apoyo secundario,

proporcionando una mayor flexibilidad horizontal y reduciendo fallas en la estructura a causa del pandeo.

En conclusión, para que un sistema de aislamiento sea efectivo, debe tener: rigidez vertical, flexibilidad horizontal, resistencia al viento incluyendo mecanismos de recentrado, amortiguamiento y limitadores de desplazamiento máximo

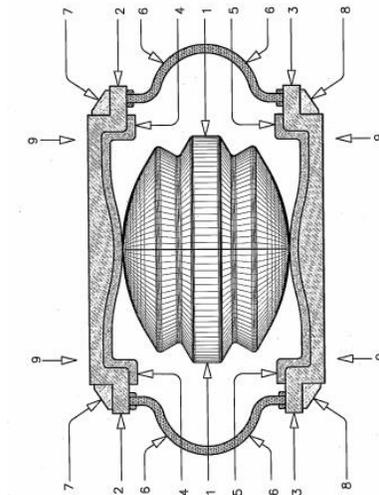


Figura 20. Vista en alzado de una primera implementación del sistema de esta invención que muestra un soporte de aislamiento sísmico multidireccional (2020). (s. f.). [Ilustración]. Tomada de En PATENTES DE AISLADORES SISMICOS.

Conclusiones

Conclusión 1:

En este artículo, con el fin de reducir el impacto de la energía generada por el evento sísmico en la estructura, se revisan los sistemas de aislamiento sísmico, encontrando diversidad y uso de tecnologías. Al implementar este tipo de soluciones, el diseñador debe explicar el comportamiento de diferentes alternativas estructurales en terremotos registrados, diseñando elementos adicionales, como la estructura de conexión entre el edificio, la capa de aislamiento y la cimentación, y cada uno de estos elementos mantendrá un movimiento independiente (los

servicios eléctricos, sanitarios y de otro tipo). Es muy importante incluir los costos de mantenimiento de estos sistemas durante la vida útil de la estructura.

Conclusión 2:

Existe variedad de aisladores sísmicos en la actualidad, de acuerdo con la revisión de literatura se encontró que la mayoría de aplicaciones en estructuras reales ha sido el aislador elastómero, que se ha utilizado para estructuras como puentes y edificios.

Conclusión 3:

Existen cuatro sistemas de dispositivos de control pasivo de energía: disipadores de energía, aisladores de base, osciladores resonantes, cables de prefuerzo, de acuerdo con la revisión de literatura se encontró que estos sistemas tienen desventajas de uso en el país debido a los altos costos y el mantenimiento que necesita, pero a pesar de esto son bastante eficientes al momento de controlar el movimiento de la estructura.

Conclusión 4:

El material que predomina como elemento clave para la construcción de aisladores es elastómeros naturales y sintético que se mezclan con capas de acero, esto se debe a que tiene excelentes propiedades de deformación horizontal y se complementa con el acero que tiene resistencia a las cargas verticales.

Conclusión 5:

Particularmente para Colombia, los aisladores han sido instalados en estructuras como son los puentes (en dos ocasiones, principalmente en la ciudad de Cali y el interconector del municipio de Zipaquirá), no han sido muy usados por sus altos costos y adicional porque en el país no hay una empresa que construya aisladores, el país más cercano que los realiza es Panamá y la importación incrementa los costos. En la actualidad se adelantan estudios con otros materiales y se están realizando pruebas con modelos a escala. En la parte de edificios nuevamente se utiliza en la ciudad de Cali para torre de apartamentos de 5 pisos.

Conclusión 6:

El aislador más económico desarrollado al momento es el elaborado a partir de gomas a bajo costo, lo que ahorra hasta un 50% en comparación con los reforzados con acero, estos facilitan el proceso de manipulación y la instalación. Son usados principalmente en edificaciones de hasta 5 pisos o estructuras similares.

Referencias

Mokha, A. S., Constantinou, M. C., & Reinhorn, A. M. (1990). Experimental study and analytical prediction of earthquake response of a sliding isolation system with a spherical surface.

Zayas, V. A., Low, S. S., & Mahin, S. A. (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. *Earthquake spectra*, 6(2), 317-333.

New Zealand Ministry of Works and Development. (1983). Design of Lead-Rubber Bridge Bearings.

Kelly, J. M., & Beucke, K. E. (1983). A friction damped base isolation system with fail-safe characteristics. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 11(1), 33-56.

Varadarajan, N., & Nagarajaiah, S. (2004). Wind response control of building with variable stiffness tuned mass damper using empirical mode decomposition/Hilbert transform. *Journal of engineering mechanics*, 130(4), 451-458.

Chan, R. W., Lin, Y. S., & Tagawa, H. (2019). A smart mechatronic base isolation system using earthquake early warning. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 299-307.

Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras.

Gerbaudo, C. F. (2006). *Diseño de un disipador metálico para una conexión articulado de viga y columna* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

Spencer Jr, B. F., & Soong, T. T. (1999, August). New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA. In *Proceedings of international post-SMiRT conference seminar on seismic isolation, passive energy dissipation and active control of vibration of structures* (pp. 23-25). Cheju, Korea.

Jaramillo-Fernández, J. D. & Gélvez-Gélvez, G. (Marzo, 2020). Inventan aislador sísmico. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.

<http://www.eafit.edu.co/investigacion/revistacientifica/edicion-170/Paginas/aislador-sismico-conocimiento-sector-electrico.aspx>

Ilieva Anguelova, I. (2020). *Estudio comparado de los métodos y dispositivos actuales orientados a amortiguar los efectos del terremoto sobre la estructura de los edificios* (Doctoral dissertation).

Espinel Jaramillo, G. R., & Herrera Flores, P. A. (2013). *Diseño sísmico con sistema de amortiguamiento en edificios regulares de hormigón armado y comparación mediante ejemplos* (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).

Board, M. R. (2015). MRB. *Archive: Natural Rubber Statistics, 2015*.

International Rubber Study Group. (2015). Latest World Rubber Industry Outlook now available from IRSG.

Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. (2012). Progress in used tyres management in the European Union: A review. *Waste management*, 32(10), 1742-1751.

Abraham, E., Cherian, B. M., Elbi, P. A., Pothen, L. A., & Thomas, S. (2011). Recent advances in the recycling of rubber waste. *Recent developments in polymer recycling*, 47, 100.

Adhikari, B., De, D., & Maiti, S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in polymer science*, 25(7), 909-948.

Meddah, A., Beddar, M., & Bali, A. (2014). Use of shredded rubber tire aggregates for roller compacted concrete pavement. *Journal of Cleaner Production*, 72, 187-192.

Kang, B. S., Kang, G. J., & Moon, B. Y. (2003). Hole and lead plug effect on fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation. *Journal of materials processing technology*, 140(1-3), 592-597.

Buckle, I. G. (2000). Passive control of structures for seismic loads. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(3), 209-221.

Moon, B. Y., Kang, G. J., Kang, B. S., Kim, G. S., & Kelly, J. M. (2003). Mechanical properties of seismic isolation system with fiber-reinforced bearing of strip type. *International applied mechanics*, 39(10), 1231-1239.

Ashkezari, G. D., Aghakouchak, A. A., & Kokabi, M. (2008). Design, manufacturing and evaluation of the performance of steel like fiber reinforced elastomeric seismic isolators. *Journal of materials processing technology*, 197(1-3), 140-150.

Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons.

Council, B. B. S. S. (2003). National Institute of Building Sciences. *NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings-Provisions and commentary*.

Kang, B. S., Kang, G. J., & Moon, B. Y. (2003). Hole and lead plug effect on fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation. *Journal of materials processing technology*, 140(1-3), 592-597.

Toopchi-Nezhad, H., Tait, M. J., & Drysdale, R. G. (2011). Bonded versus unbonded strip fiber reinforced elastomeric isolators: finite element analysis. *Composite Structures*, 93(2), 850-859.

Van Engelen, N. C., Osgooei, P. M., Tait, M. J., & Konstantinidis, D. (2015). Partially bonded fiber-reinforced elastomeric isolators (PB-FREIs). *Structural Control and Health Monitoring*, 22(3), 417-432.

Gent, A. N. (2012). *Engineering with rubber: how to design rubber components*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons.

Suárez, N. B., López, F. A. G., & Guerrero, L. A. R. (2014). Experiencias sobre aislamiento sísmico en Colombia. In *Resúmenes de comunicaciones* (pp. 317-318). Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural.

Apoyos elastoméricos y POT. (s. f.). Verdú - The global rubber technical service. Recuperado 21 de junio de 2020, de <http://www.cauchoverdu.com/pag/es/5/apoyos-elastomericos-y-pot>

Betancour, N., & Galvis, F. (2015). Aislamiento sísmico en Colombia: Caso de estudio Puentes Cra. 44, Cali. *Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, VII*, 1-11. https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Galvis/publication/317600771_Aislamiento_sismico_en_Colombia_caso_de_estudio_puentes_cra_44-Auto_Sur_Cali/links/59429900a6fdccb93ab261bd/Aislamiento-sismico-en-Colombia-caso-de-estudio-puentes-cra-44-Auto-Sur-Cali.pdf

Ing Dario Farias Garcia. (s. f.). Código Colombiano de Diseño de Puentes. En Asociación Colombiana de Ingeniería Sismuca - AIS (Ed.), *Código Colombiano de Diseño de Puentes* (pp. 1-15-9.6). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>

AASHTO. 2014. AASHTO LRFD Bridge Design Specification, 6 th Edition, American Association of State and Transportation Officials, Washington D.C.

AASHTO. 2010. Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 3 th Edition, American Association of State and Transportation Officials, Washington D.C.

Detek Internacional, S.A. de C.V. (s. f.). Detek Internacional, S.A. de C.V. Recuperado 21 de junio de 2020, de <https://www.detek.com.mx/automotriz/construccion/aisladores-s%C3%ADsmicos>

Cymper.com. (s. f.). Cymper.com. Recuperado 21 de junio de 2020, de <https://www.cymper.com/blog/apoyos-elastomericos-cosas-que-debes-saber/>

Aguiar, R., Morales, E., Guaygua, B., & Rodríguez, M. (2017). Simplified method for seismic analysis of structures with FPS isolators-third generation. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33(1).

Sosa, A., & Ruiz, S. (1992). ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COSTOS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (44), 11-28.

Pittí, R. B., & Rogelio, B. (2013). Estado del arte de los sistemas de protección sísmica para edificios. *Mente & Materia*, 4(1), 26-27.

Kelly, J. M., & Konstantinidis, D. (2011). *Mechanics of rubber bearings for seismic and vibration isolation*. John Wiley & Sons.

Ismail, M., Rodellar, J., & Ikhouane, F. (2008). *Method for the seismic isolation of a supported object*. Patents No. WO2010000897A1, ES20080002043, P200802043. PCT/ES2009/000351, Spanish Office of Patents and Marks.