

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado	Pág.		
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO	i(83)		

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Danny Yaireth Mejía Angarita		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Nelson Afanador García		
TÍTULO DE LA TESIS	Estado del arte sobre el uso de aisladores sísmicos en edificaciones		
TITULO EN INGLES	State of the art on the use of seismic isolators in buildings		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>Monografía de compilación referente a los usos y aplicaciones de aisladores que se han realizado hasta la fecha en edificaciones. Se ilustran los diferentes tipos de aisladores que actualmente se encuentran disponibles en el mercado, así como sus características, y las consideraciones necesarias que deben ser tenidas en cuenta para su implementación.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>Compilation monograph referring to the uses and applications of insulators that have been carried out to date in buildings. The different types of isolators that are currently available on the market are illustrated, as well as their characteristics, and the necessary considerations that must be taken into account for their implementation.</p>			
PALABRAS CLAVES	Aislador sísmico, Sistemas de protección sísmica, Edificaciones, Estado del arte, y Aplicaciones.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Seismic isolator, Seismic protection systems, Buildings, State of the art, and Applications.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 83	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



ESTADO DEL ARTE SOBRE EL USO DE AISLADORES SÍSMICOS EN EDIFICACIONES

Autores

DANNY YAIRETH MEJÍA ANGARITA

Trabajo de grado modalidad monografía para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Ph.D. NELSON AFANADOR GARCÍA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2021

Agradecimientos

La autora de esta monografía expresa su cordial agradecimiento al Ph.D Nelson Afanador García, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda, especialmente al Ing. Luis Miguel Duarte Vergara por su acompañamiento y colaboración en todas las etapas del proyecto.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

Danny Yaireth Mejía Angarita

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia tan maravillosa, por eso dedico con todo mi amor y cariño mi proyecto de grado en especial a mis padres, Alexis Mejía y Audyd Angarita, por haberme forjado y ayudado a ser quien soy actualmente, por siempre guiarme y sostenerme en las dificultades, dándome ejemplo de humildad, superación y amor incondicional, brindándome su bendición en todo momento. A mis hermanitas, Cielo y Mariangel, las cuales son un motivo más para darles mi ejemplo, enseñarles cada día a lograr sus sueños y ayudarles a guiar sus pasos. A mi abuelita, María Helena, que gracias a sus enseñanzas y consejos he obtenido grandes logros en mi vida. A mi novio, Johan, por estar siempre a mi lado, acompañándome en cada momento, gracias por tu amor incondicional y por ser mi apoyo siempre.

Este nuevo logro ha sido gracias a ustedes e inspirado en las personas más importantes para mí, por eso les dedico este gran paso en mi vida.

Danny Yaireth Mejía Angarita

Resumen

El presente trabajo corresponde a una monografía de compilación donde se plasma un estado del arte de los aisladores sísmicos empleados en edificaciones, debido a la necesidad de corroborar si existe confiabilidad en la aplicación de los aisladores sísmicos a nivel mundial, para lo cual fue necesario describir los sistemas de control sísmico, ilustrar los aisladores sísmicos, y exponer los casos de aplicación más importantes de estos dispositivos en edificaciones, con lo cual se demostró que la larga experiencia en algunos países, principalmente Japón, Estados Unidos y Chile, ha permitido la aplicación de estos dispositivos de forma eficaz y segura.

Palabras claves: Sistemas de control sísmico, Aisladores sísmicos, aplicaciones.

Tabla de Contenido

Resumen	iii
Introducción.....	1
Capítulo 1. Sistemas de control sísmico en edificaciones.....	3
1.1 Sistemas pasivos.....	5
1.1.1 Aislamiento sísmico.	5
1.1.2 Disipadores de energía.	6
1.1.3 Osciladores resonantes TMD.....	10
1.2 Sistemas activos.....	11
1.3 Sistemas híbridos.....	12
1.4 Sistemas semiactivos.....	13
Capítulo 2. Aisladores sísmicos en edificaciones.....	14
2.1 Historia	14
2.2 Clasificación de los aisladores sísmicos.....	17
2.2.1 Aisladores elastoméricos.....	17
2.2.2 Aisladores de deslizamiento.....	20
2.3 Normatividad.....	22
2.4 Ensayos en los aisladores sísmicos.....	25
2.5 Método de instalación.....	29
Capítulo 3. Casos de aplicación de aisladores sísmicos en edificaciones	32
3.1 Edificaciones construidas con aisladores sísmicos.....	33
3.1.1 Edificio Bridgestone Toranamom.	33
3.1.2 Hospital Takasu.....	35
3.1.3 Los Ángeles City Hall.	36
3.1.4 Hospital Regional de Antofagasta.....	37
3.1.5 Edificio de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior.....	38
3.1.6 Edificio de ciencias de la Universidad EAFIT.	39
3.1.7 Viaducto helicoidal.....	40
3.2 Empresas fabricantes y distribuidoras de aisladores sísmicos	41
3.2.1 Freyssinet Colombia.....	41

3.2.2 E&M.....	42
3.2.3 Dynamic Isolation Systems.....	43
3.2.4 MAGEBA.....	44
3.3 Construcción crítica del estado del arte de los aisladores sísmicos referentes a la normatividad colombiana.....	45
Conclusiones.....	47
Referencias	49
Apéndices	54

Lista de Tablas

Tabla 1.....	23
--------------	----

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de zonas de mayor riesgo sísmico.....	4
Figura 2. Disipador metálico activado por desplazamiento.....	7
Figura 3. Disipador fluido-viscoso	8
Figura 4. Muro viscoso	8
Figura 5. Disipador viscoelástico.....	9
Figura 6. Disipador oscilador resonante TMD	10
Figura 7. Sistema activo de control sísmico.	11
Figura 8. Sistema híbrido de control sísmico.....	12
Figura 9. Sistema activo de control sísmico.	13
Figura 10. Partenón. Megaconstrucciones.net, 2021	16
Figura 11. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento LDRB	18
Figura 12. Aislador elastomérico con núcleo de plomo LRB.....	19
Figura 13. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDRB.....	20
Figura 14. Aislador de apoyos deslizantes.....	21
Figura 15. Aislador de péndulos friccionales.	22
Figura 16. Aislador sísmico ensayado en laboratorio.....	28
Figura 17. Aislador sísmico sometido a cargas de compresión.....	29
Figura 18. Componentes típicos de un aislador	30
Figura 19. Verificación de los pernos de anclaje del aislador sísmico.	30
Figura 20. Instalación del aislador sísmico.....	31
Figura 21. Ajuste de tornillos en el aislador sísmico.....	31
Figura 22. Edificio Bridgestone Toranomon, Japón.....	34
Figura 23. Aisladores sísmicos empleados en el edificio Bridgestone Toranomon, Japón.....	34
Figura 24. Hospital Takasu, ubicado en la ciudad de Osaka, Japón.....	35
Figura 25. Aislador sísmico usado en el hospital Takasu. Dis-inc.com, 2020.	35
Figura 26. Edificio Los Ángeles City Hall. KCRW.com, 2020.	36
Figura 27. Aislador sísmico usado en Los Ángeles City Hall. Elespañol.com, 2020.	36
Figura 28. Hospital Regional de Antofagasta, Chile. Concesiones.cl, 2021	37
Figura 29. Aisladores usados en el Hospital Regional de Antofagasta, Chile.....	37
Figura 30. Edificio ONEMI, Chile. Pabloblanco.cl, 2021	38
Figura 31. Aisladores usados en el Hospital Regional de Antofagasta, Chile.....	38
Figura 32. Edificio de ciencias de la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.....	39
Figura 33. Aisladores usados en el edificio de ciencia de la Universidad EAFIT.....	39
Figura 34. Puente helicoidal en Dos Quebradas, Risaralda.	40
Figura 35. Aisladores usados en el edificio de ciencia de la Universidad EAFIT.....	40
Figura 36. Aislador sísmico distribuido por Freyssinet Colombia.	42
Figura 37. Aislador sísmico distribuido por E&M. E&M, 2021.	43
Figura 38. Aislador sísmico fabricado por DIS. DIS, 2021.....	44
Figura 39. Aislador sísmico fabricado por MAGEBA. MAGEBA, 2021.....	45

Lista de Apéndices

Apéndice A. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.....	55
Apéndice B. Catálogo de productos E&M.....	61
Apéndice C. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.....	63
Apéndice D. Catálogo de productos MAGEBA.....	68

Introducción

Colombia es uno de los países con mayor actividad sísmica en el mundo, sin embargo, existe poco conocimiento y aplicaciones de alternativas de control sísmico como los aisladores sísmicos, los cuales son empleados frecuentemente en países desarrollados como Japón, Estados Unidos, Canadá, Chile, entre otros. Se debe considerar que en países como Colombia prima la construcción de edificaciones con los métodos tradicionales (pórticos y estructuras convencionales de mampostería) comprendidas por columnas, vigas y losas, creadas en materiales como el acero o concreto reforzado, y por lo general se evaden nuevas formas de construir al no tener presente las nuevas tecnologías (Urbina, 2014; Ramírez, F., et al., 2015).

La importancia de esta trabajo se justifica en que permitió abordar los aspectos más importantes para la difusión de este tipo de dispositivos, brindando una guía rápida y accesible para la selección del aislador sísmico más adecuado para cada proyecto de construcción en específico, considerando que en el mercado existen una gran diversidad en los diseños de aisladores sísmicos, lo que dificulta en muchos casos su correcta selección, por lo que se sintetizan en esta monografía los aspectos necesarios para conocer las características específicas de estos dispositivos, sus métodos de instalación y las consideraciones necesarias para llevar a cabo su utilización.

Por lo anterior, se hizo necesario realizar una recopilación de información que permitiera abordar de manera detallada los aspectos concernientes al uso de los aisladores sísmicos, siendo

el eje principal del desarrollo de esta monografía, el dar respuesta a la siguiente formulación:
¿Cuál es el estado del arte sobre el uso de aisladores sísmicos en edificaciones?

La realización de la monografía tuvo una duración de 16 semanas, tiempo en el cual se empleó una metodología de análisis de contenido, cuyo proceso fue llevado a cabo en cuatro etapas. La primera etapa comprendió la revisión de la información bibliográfica referente al tema de estudio. La segunda etapa correspondió al análisis y selección de la información disponible. En la tercera etapa se realizó la recopilación de la información relevante, y por último, en la cuarta etapa se desarrollaron los objetivos planteados, los cuales fueron:

- Describir los sistemas de control sísmico en edificaciones.
- Ilustrar los aisladores sísmicos empleados en edificaciones.
- Exponer los casos de aplicación de aisladores sísmicos en edificaciones.

Capítulo 1. Sistemas de control sísmico en edificaciones

Las fuentes consultadas, y las referencias empleadas para el desarrollo de esta monografía, fueron seleccionadas debido a que sus autores son reconocidos dentro del ejercicio de su profesión como investigadores del área de la ingeniería civil, además de pertenecer a instituciones, especialmente universidades, de alto prestigio internacional, con lo cual se garantiza la confiabilidad y veracidad de la información plasmada en este trabajo.

Los sismos son definidos como fallas subterráneas del subsuelo que se manifiestan en la corteza terrestre en forma de vibraciones. De forma general, la ocurrencia de sismos es relativamente común en diversas partes del mundo, sin embargo, cada año unos cuantos sismos son de una magnitud suficiente para ocasionar daños en edificaciones y demás infraestructuras. Las zonas de alto riesgo sísmico son propensas a este tipo de fenómenos, en la figura 1 se observa el mapa global de actividad sísmica. Las zonas de color rojo representan las áreas donde mayor número de sismos de alta intensidad ocurren; gran parte del territorio colombiano se encuentra en esta zona (Urbina, 2014).

Durante toda la historia ha sido común la ocurrencia de sismos, los cuales han generado grandes pérdidas tanto de vidas humanas como de infraestructuras. En el año 2016, Munich Re, publicó un estudio donde indicó que de los 10 eventos que mayor cantidad de víctimas humanas han causado en las últimas tres décadas, 6 de ellos son sismos. Se estima que en los últimos 50

años más de 700.000 muertes están directamente relacionadas a fenómenos de origen sísmico (Chen & Xing, 2015).

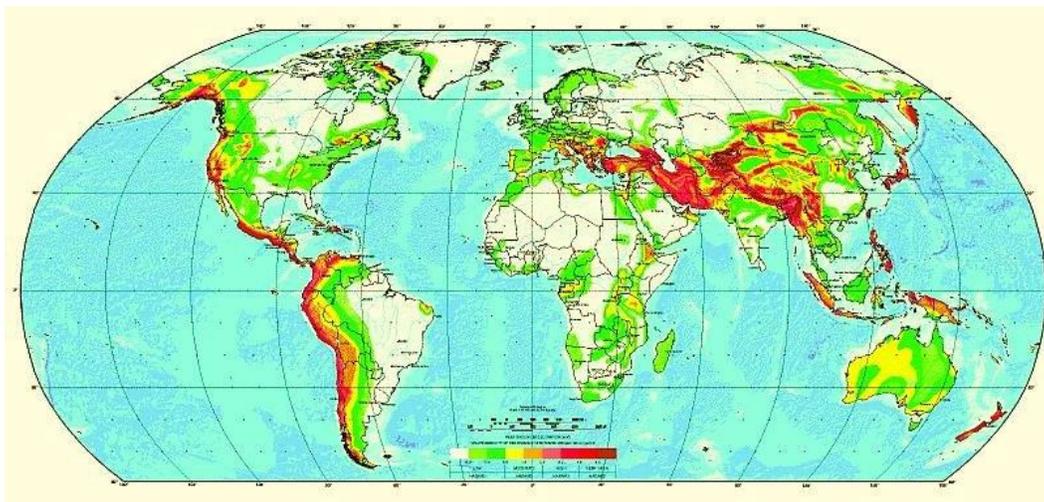


Figura 1. Mapa de zonas de mayor riesgo sísmico. Researchgate.net, 2021. Obtenido en: https://www.researchgate.net/figure/Mapa-Zonas-de-Mayor-Riesgo-Sismico-Fuente-wwwlpiteluvaes_fig159_316214638

Cuando se diseñan y construyen edificaciones, se prevé que tengan una respuesta aceptable durante la ocurrencia de un sismo, sin embargo, por aspectos de tipo técnico y económico, principalmente, no se espera que éstas no sufran daños o deterioros en sus elementos estructurales en casos de sismos de gran intensidad, esto es debido a que en el ejercicio ingenieril, se admite que los daños en la estructura logren presentarse en elementos y zonas establecidos previamente, con el propósito de disipar gran parte de la energía sísmica de forma controlada (Genatios & Lafuente, 2016).

Para lograr el menor efecto posible de los sismos en las edificaciones, se han desarrollado los denominados sistemas de control sísmico, los cuales incluyen diseños relativamente simples,

hasta avanzados sistemas totalmente automatizados. En el presente capítulo se detallan los sistemas de control sísmico.

1.1 Sistemas pasivos

Los sistemas de control pasivo son dispositivos que buscan reducir la respuesta dinámica de los sismos por medios mecánicos que se encargan de disipar o aislar la energía. Estos sistemas no permiten un monitoreo de la respuesta estructural de la edificación. Actualmente son los más empleados en las edificaciones. Dentro de los sistemas de control pasivo se encuentran: aislamiento sísmico, disipadores de energía, y osciladores resonantes TMD (Castilla & Montes, 2011; Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).

1.1.1 Aislamiento sísmico.

El aislamiento sísmico consiste en emplear dispositivos que se encargan de limitar la energía que ingresa a la edificación, para ello se colocan elementos flexibles en dirección horizontal, los cuales son ubicados en la base de las columnas o en los primeros niveles de la estructura. Su propósito es generar una separación de los movimientos del suelo. Las características de estos dispositivos se presentan en detalle en el capítulo 2 (Morales & Sinchiguano, 2018).

1.1.2 Disipadores de energía.

Los disipadores de energía son dispositivos que se caracterizan por aumentar la disipación de energía en el sistema estructural mediante la conversión a calor de la energía cinética, o por facilitar que la energía sísmica sea transferida entre distintos modos de vibración. Estos dispositivos son ubicados en puntos estratégicos de la edificación, con ello se logra aumentar el amortiguamiento frente a los movimientos sísmicos, además de contrarrestar el efecto del viento (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2008).

Actualmente se distinguen tres tipos de disipadores de acuerdo a la forma en que disipan la energía: activados por desplazamiento, activados por velocidad, y activados por desplazamiento y velocidad.

1.1.2.1 Disipadores activados por desplazamientos.

Son los dispositivos que disipan la energía sísmica a través de las deformaciones plásticas de sus componentes, o por la fricción entre superficies. El más común de este tipo son los disipadores metálicos, los cuales por medio de esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos, generan la fluencia suficiente entre los metales que conforman el dispositivo. En la figura 2 se observa uno de los disipadores activados por desplazamientos más comercializados (Morales & Sinchiguano, 2018).

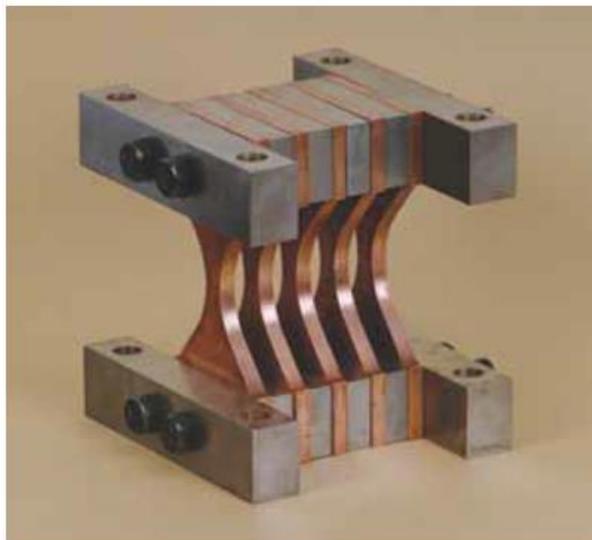


Figura 2. Disipador metálico activado por desplazamiento. Oviedo & Pilar, 2006. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. p. 113.

1.1.2.2 Disipadores activados por velocidad.

Estos disipadores se activan durante un sismo debido a los movimientos producidos en los extremos de los dispositivos. Se caracterizan por añadir amortiguamiento sin afectar la rigidez lateral de la estructura (Pinzón & Martínez, 2014).

Dentro de los disipadores activados por velocidad se encuentran los fluido-viscosos, los cuales disipan la energía al forzar a un fluido altamente viscoso a pasar a través de orificios diseñados para controlar el paso del fluido. En la figura 3 se observa un ejemplo de este tipo de dispositivos (Morales & Sinchiguano, 2018).



Figura 3. Disipador fluido-viscoso. Cec.uchile.cl, 2021. Obtenido en: <https://www.cec.uchile.cl/~dicesco/aislacion.html>

Otro disipador activado por velocidad es el denominado como muro viscoso, el cual se basa en una placa cuyo movimiento ante sismos se da en un fluido altamente viscoso al interior de una caja hermética de acero. Son los menos empleados. En la figura 4 se observa una representación de su forma (Morales & Sinchiguano, 2018).

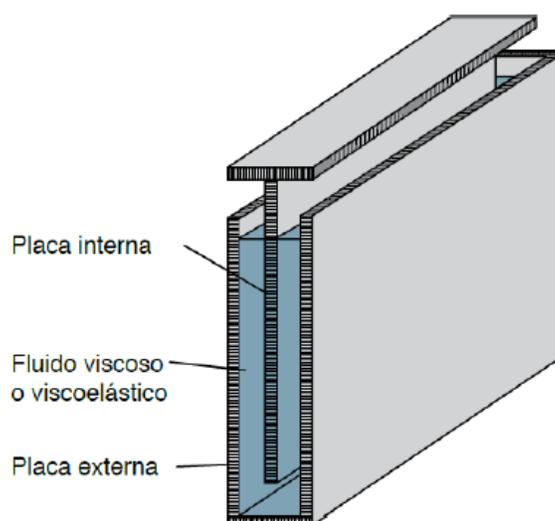


Figura 4. Muro viscoso. Morales & Sinchiguano, 2018. *Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislamiento y disipación de energía sísmica.* p. 37.

1.1.2.3 Disipadores activados por desplazamiento y velocidad.

Este tipo de dispositivos se activan por desplazamientos y velocidades en sus extremos, ocasionados por los movimientos sísmicos en la edificación. Se caracterizan por brindar amortiguamiento y rigidez (Pinzón & Martínez, 2014).

El tipo de dispositivo más común de este tipo es el viscoelástico, el cual está conformado por placas metálicas. Entre estas placas se adicionan materiales viscoelásticos. Cuando ocurren los sismos, estas placas disipan la energía desplazando el material viscoelástico. En la figura 5 se observa la forma común de este tipo de dispositivos (Izaguirre, 2007).

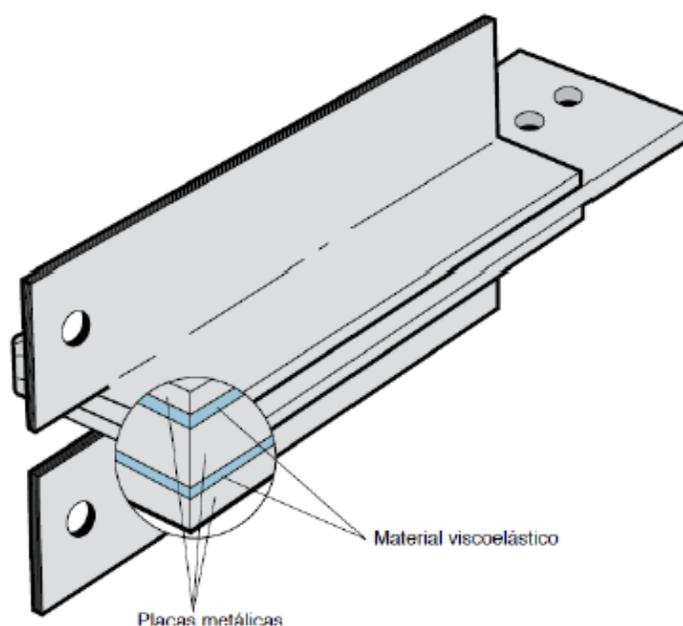


Figura 5. Disipador viscoelástico. Morales & Sinchiguano, 2018. Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislamiento y disipación de energía sísmica. p. 38.

1.1.3 Osciladores resonantes TMD.

Los osciladores resonante TMD, (por sus siglas en inglés “Tuned Mass Dampers”), también conocidos como Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS), son sistemas que son ubicados en la parte superior de la edificación, activándose por las fuerzas inerciales que les transmite la misma. Estos dispositivos se encuentran conformados por una masa, elementos restitutivos y mecanismos de disipación de energía. Su funcionamiento se basa en sintonizar las vibraciones de la estructura con un oscilador resonante, el cual reduce la respuesta dinámica de la edificación, aunque son utilizados principalmente para disminuir los efectos del viento, permiten de igual forma contrarrestar los movimientos sísmicos, aunque en menor medida. En la figura 6 se observa un ejemplo de este tipo de dispositivos (Herrera, 2018).



Figura 6. Disipador oscilador resonante TMD. Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011. *Protección sísmica de estructuras. Sistema de aislación sísmica y disipación de energía.* p. 21.

1.2 Sistemas activos

Los sistemas de control activo, son aquellos dispositivos que en conjunto se encuentran conformados por sensores de movimiento, controladores y procesadores de datos, y actuadores dinámicos. Este sistema se encarga de monitorear la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, en caso de presentarse movimientos sísmicos considerables, se encargan de aplicar las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos del sismo. En la figura 7 se observa el esquema general de este tipo de sistemas (Castilla & Montes, 2011; Morales & Sinchiguano, 2018).

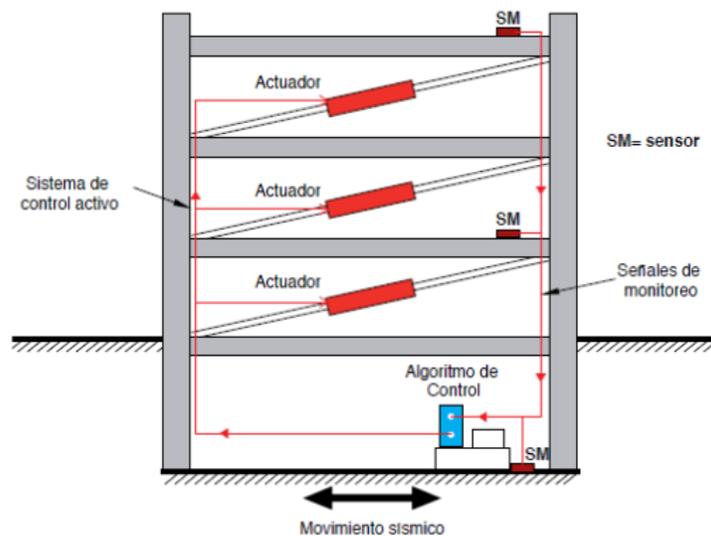


Figura 7. Sistema activo de control sísmico. Morales & Sinchiguano, 2018. *Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislamiento y disipación de energía sísmica.* p. 23.

1.3 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos son definidos como una combinación de dispositivos pasivos y activos, cuya finalidad es aprovechar las ventajas de cada sistema, y brindar mayor confiabilidad y eficiencia en el control y protección estructural ante los movimientos sísmicos (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).

El ejemplo más común de un sistema híbrido es aquel donde en una edificación son instalados amortiguadores viscoelásticos y amortiguadores activos de masa en la parte superior del edificio. Otro ejemplo es una estructura con aisladores sísmicos en la base, a los cuales se les instala actuadores controlados activamente con el fin de mejorar su comportamiento. En la figura 8 se observa un ejemplo de este tipo de sistema, donde se emplea en conjunto un aislador sísmico con un disipador activado por desplazamiento y velocidad (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2008).



Figura 8. Sistema híbrido de control sísmico. Global.ctbuh.org, 2020. Obtenido en: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/288-hybrid-mass-dampers-for-canton-tower.pdf>

1.4 Sistemas semiactivos

A diferencia de los sistemas activos, en los sistemas semiactivos no se aplican fuerzas de control en el sistema estructural, además, requieren menor cantidad de energía externa. Es común considerar a este tipo de sistema como dispositivos pasivos controlables. En la figura 9 se observa el esquema general de funcionamiento de este tipo de sistemas (Castilla & Montes, 2011; Gómez, Marulanda, & Thomson, 2008).

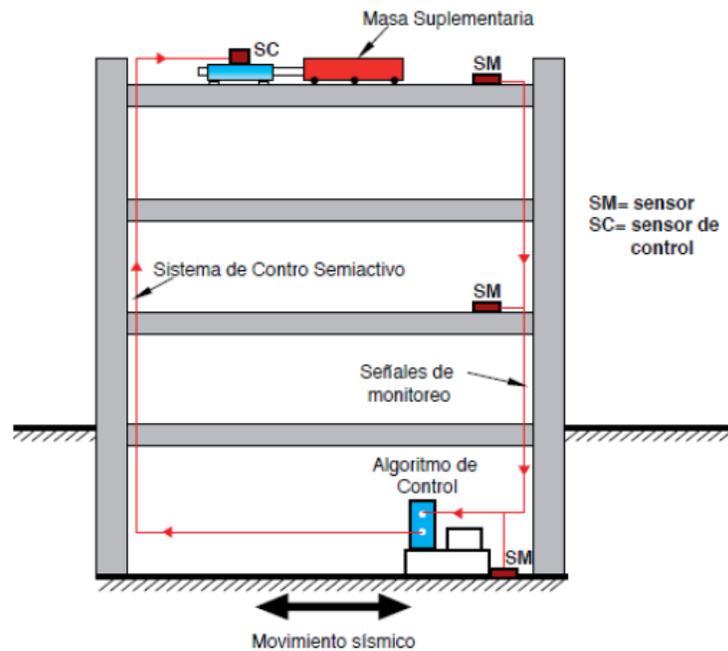


Figura 9. Sistema activo de control sísmico. Morales & Sinchiguano, 2018. *Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislamiento y disipación de energía sísmica.* p. 23.

Capítulo 2. Aisladores sísmicos en edificaciones

En el capítulo anterior se hizo mención de que el aislamiento sísmico consiste en limitar la energía que ingresa a la edificación. De forma concreta, el aislador sísmico es un dispositivo de alta flexibilidad, el cual es colocado entre la edificación y la fundación o cimentación, y se encarga de transmitir el menor movimiento posible a la estructura en el caso de que ocurra un sismo. De no instalarse el aislador, la cimentación transmitiría a la estructura una gran cantidad de vibraciones (Genatios & Lafuente, 2016).

Dentro del sector de la construcción se considera que los movimientos sísmicos no representan un riesgo si esta es afrontada por edificaciones adecuadas. Con el fin de resistir este tipo de eventos, sin que se generen colapsos, y buscando el menor daño posible en la infraestructura, se han implementado los aisladores sísmicos en las edificaciones (Oviedo & Pilar, 2006). En este capítulo se abordan las consideraciones generales referentes a los aisladores sísmicos.

2.1 Historia

La primera patente registrada sobre aislamiento sísmico data del año 1870 en la ciudad de San Francisco, Estados Unidos, donde el Ing. Touaillon, describe los resultados de sus experimentos, con los cuales concluyo que era factible construir edificios en zonas de alto riesgo sísmico empleando articulaciones libres lubricadas sobre una capa fina de arena, mica o talco,

con el fin de disminuir la magnitud de las fuerzas transmitidas a la estructura aislada (Warn & Ryan, 2012).

Aunque la propuesta presentada por Touaillon resultó novedosa en su época, Kirivo, 1992, citado por Genatios & Lafuente, 2016, indicó en su libro “History of Earhquake Resistant Constructions. From Antiquity to our Times” (Historia de las Construcciones Resistentes a los Terremotos. De la Antigüedad a nuestros tiempos), que la técnica de aislamiento sísmico se remonta a los primeros esfuerzos de las civilizaciones por minimizar los desastres producidos por terremotos (Genatios & Lafuente, 2016).

Es así como indica que en la Antigüedad fue común el empleo de tres técnicas para aislar a las estructuras de los movimientos del terreno producto de los sismos. La primera técnica consistió en el uso de varias capas de piedras bajo la base de la estructura. Estas piedras eran cortadas con superficies alisadas y colocadas sin mortero. La segunda técnica fue el uso de piezas de apoyo de madera, y por último, la tercera técnica consistía en colocar varias capas de arena, piedras, y en ocasiones otros materiales, entre el suelo y las paredes. Esta última técnica es la más similar a la patentada por Touaillon en el año 1870 (Genatios & Lafuente, 2016).

Para sustentar su tesis, Kirivo, basado en exploraciones y excavaciones en estructuras de la Antigüedad, resalta el caso específico del Partenón en la ciudad de Atenas. Antes de su edificación, en la base del Partenón fue instalada una gruesa capa de algas marinas, las cuales, generaron un comportamiento elástico y permitieron mitigar el impacto sísmico sobre la

edificación. Aunque en la actualidad el Partenón se encuentra relativamente en ruinas, su deterioramiento fue debido a los incendios provocados durante las guerras de la Antigua Grecia, incluso hoy día se siguen conservando en pie un gran número de sus columnas y la forma general de su arquitectura primitiva, como se observa en la figura 10 (Nasani & Wassef, 2015).



Figura 10. Partenón. Megaconstrucciones.net, 2021. Obtenido en: <https://megaconstrucciones.net/?construccion=partenon>

A pesar de que las primeras descripciones del método de aislamiento sísmico fueron realizadas a finales del Siglo XIX, fue hasta el año 1921 en Japón, que se construyó el primer edificio moderno bajo esta técnica. El procedimiento consistió en formar una capa de 18 a 22 m de espesor de barro, sobre la cual se conformó otra capa de suelo firme de 2,44 m de espesor como base para la estructura. Este edificio representó el primer indicio de la efectividad de la técnica de aislamiento sísmico, pues fue de los pocos que resistió el devastador sismo de 1923, conocido como el Gran Terremoto de Kanto, y en el cual murieron cerca de 150.000 personas. Se estima que más 570.000 edificaciones fueron destruidas durante el terremoto, entre viviendas y edificios (Tafheem, Z., et al., 2015).

A partir de ese precedente, en Japón fue común la búsqueda de mejores sistemas de aislamiento sísmico, por lo cual, se inició la investigación de nuevo materiales y de nuevas formas de aislamiento. En la década de los 30, fue común construir edificios soportados sobre columnas, que actuaban como pilotes, sobre los cuales se construía una losa maciza que servía de base para el resto de la estructura. En los puntos de unión de las columnas y la losa se colocaban bloques de goma dura que actuaban como aisladores. Desde entonces la construcción con aisladores sísmicos fue expandiéndose a otros países, como Estados Unidos, Italia, Chile, México, entre otros (Tafheem, Z., et al., 2015).

2.2 Clasificación de los aisladores sísmicos

Los aisladores sísmicos son agrupados en dos tipos, los elastoméricos y los de deslizamiento. A continuación se abordan los detalles de ambos tipos.

2.2.1 Aisladores elastoméricos.

Los aisladores elastoméricos, son aquellos que se encuentran conformados por un conjunto de láminas planas flexibles, cuyo material es generalmente gomas de alta resistencia, las cuales son alternadas con capas de acero. Se caracterizan por permitir grandes deformaciones laterales. Soportan los eventos sísmicos deformando y contrayendo las capas de gomas, las cuales después de ocurrido el evento retornan a su tamaño original (Beirami, Zamani, & Barghian, 2020). Se distinguen tres tipos de aisladores elastoméricos, los cuales se detallan a continuación:

2.2.1.1 Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB).

Este tipo de aisladores permiten un amortiguamiento de entre el 2 a 5%, debido a esto suelen ser utilizados en conjunto con disipadores de energía para que provean el amortiguamiento adicional en las edificaciones. Son fabricados con una sucesión de capas como se describió anteriormente, la goma utilizada es generalmente de origen natural. En la figura 11 se observa el aspecto común de este tipo de aisladores (Fasi & Sreemahadevan, 2018).

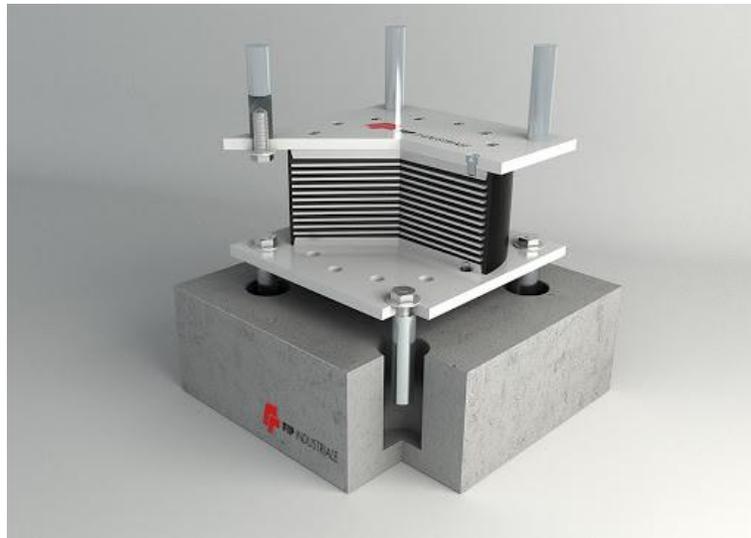


Figura 11. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento LDRB. Sismica.cl, 2021. Obtenido en: <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-si>

2.2.1.2 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).

Estos aisladores presentan el mismo conjunto de capas del anterior aislador, pero poseen un núcleo de plomo en su parte central que permite aumentar el nivel de amortiguamiento,

alcanzado valores de hasta 30%. El núcleo de plomo actúa disipando la energía sísmica en forma de calor. En la figura 12 se observa un ejemplo de este tipo de dispositivos (Wang, 2020).

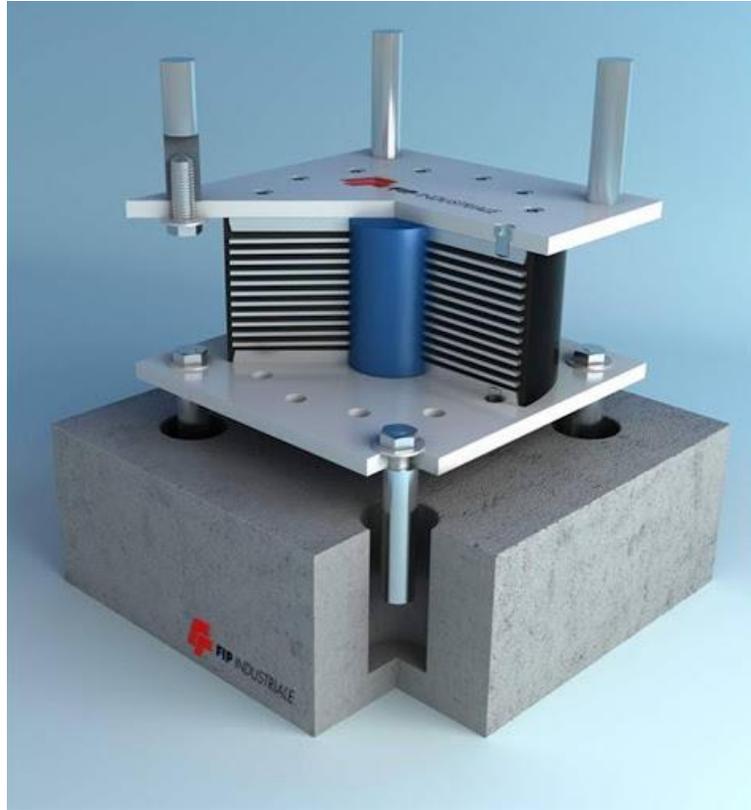


Figura 12. Aislador elastomérico con núcleo de plomo LRB. Sismica.cl, 2021. Obtenido en: <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-con-nucleo-de-plomo-lrb>

2.2.1.3 Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB).

Este tipo de aisladores presentan las mismas características que los aisladores LDRB, sin embargo, las capas de gomas suelen fabricarse con elementos adicionales como carbón, resinas y aceites, con lo cual alcanzan valores de amortiguamiento de entre 10 a 15%. En la figura 13 se observa un ejemplo de este aislador (Genatios & Lafuente, 2016).



Figura 13. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDRB. Construx.com.ec, 2021.

Obtenido en:

https://construx.com.ec/exhibidores/cauchos_vikingo/producto/aislador_sismico_caucho_natural_nbr

2.2.2 Aisladores de deslizamiento.

Los aisladores de deslizamiento son aquellos cuyo amortiguamiento es realizado por los movimientos relativos entre dos planchas metálicas (de acero). Una plancha es sujeta a la estructura y otra a la cimentación. Entre ambas planchas existe un revestimiento o capa de Politetra Fluoro Etileno (PTFE). En general, estos dispositivos son poco utilizados dado que requieren de mayor mantenimiento y cuidado, pues se requiere verificar que la capa de PTFE se encuentre en los niveles adecuados. Se distinguen dos tipos de aisladores de deslizamiento: los apoyos deslizantes planos, y los péndulos friccionales (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).

2.2.2.1 Apoyos deslizantes planos.

Son los típicos aisladores de deslizamiento, conformados por dos capas entre las cuales se añade PTFE. Este tipo de aisladores requieren ser reacomodados a su posición inicial después de soportar movimientos sísmicos, por lo cual suelen emplearse en conjunto con otro tipo de aisladores. Su selección está condicionada en mayor parte por aspectos económicos, pues permiten disminuir los costos del sistema sísmico. En la figura 14 se observa este tipo de aislador (Ismail, 2018).



Figura 14. Aislador de apoyos deslizantes. Eymproductostecnicos.com, 2021. Obtenido en: <https://www.eymproductostecnicos.com/aisladores-sismicos-fabricados-por-eym>

2.2.2.2 Péndulos friccionales.

Este tipo de aisladores se caracterizan por contar con un deslizador articulador ubicado sobre una superficie cóncava, se caracterizan por ser autocentrantes, por lo cual, después de un sismo, retornan a su posición inicial. En la figura 15 se observa un ejemplo de este tipo de aisladores (Ismail, 2018).



Figura 15. Aislador de péndulos friccionales. Sismica.cl, 2021. Obtenido en: <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-de-pendolo-friccional-dobles>

2.3 Normatividad

En Colombia, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, en el Título A numeral 3.8.1 establece que se permite el uso de aisladores sísmicos siempre y cuando su empleo se encuentre acorde a los requisitos expuestos en alguno de los siguientes documentos: FEMA 450, o ASCE/SEI 7-05 (Título A NSR-10, 2010).

El primer documento FEMA 450, es una guía establecida por la Federal Emergency Management Agency (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias), donde establece una metodología para analizar la aislación sísmica para proteger las edificaciones. La principal características de los criterios del FEMA 450 es que toma la deriva máxima de entrepisos como

el principal parámetro a controlar. No obstante, en lugar de considerar el incremento de la rigidez para realizar el control del desplazamiento lateral, se centra en emplear el amortiguamiento efectivo de la estructura para reducir dicho desplazamiento (FEMA 450, 2003; Herrera, 2018).

Normalmente, los diseños estructurales son realizados para que las edificaciones logren por si mismas amortiguar hasta en un 5% los movimientos sísmicos, sin embargo, esto las vuelve muy vulnerables, por lo que los aisladores sísmicos son instalados para lograr un amortiguamiento que supere ese 5% (FEMA 450, 2003; Herrera, 2018).

De acuerdo al amortiguamiento efectivo (%) que se considere en el diseño estructural, el FEMA 450 recomienda emplear el factor B_M en función de dicho amortiguamiento. Esta relación se encuentra resumida en la tabla 1.

Tabla 1

Factor B_M recomendado por FEMA 450

Amortiguamiento Efectivo (%)	B_M
≤2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥50	2,0

Nota: Adaptado de FEMA 450, 2003.

El factor B_M , según el FEMA 450, debe ser utilizado para calcular el espectro de aceleraciones de la edificación, y este puede ser calculado a partir de la ecuación 1. La relación es que mientras mayor sea el valor del factor B_M , menor aceleración se presentara en la estructura; y mientras mayor sea el porcentaje de amortiguamiento efectivo que proporcione el aislador, mejor comportamiento tendrá la estructura. La selección del aislador sísmico debe estar basada en esta consideración (FEMA 450, 2003; Herrera, 2018).

$$Espectro_{Amort.Efect.\neq 5\%} = \frac{Espectro_{5\%}}{B_M}$$

El otro documento considerado por la NSR-10, el ASCE/SEI 7-05 de la American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), recomienda las mismas disposiciones dadas por el FEMA 450, pero incluye las siguientes consideraciones (ASCE/SEI 7-05, 2005; Herrera, 2018):

- La edificación debe ser regular y los aisladores deben distribuirse simétricamente.
- Sumados a los aisladores, se deben disponer como mínimo dos disipadores de energía en cada piso y en cada dirección del análisis, para que no se sobreesfueren los dispositivos.

2.4 Ensayos en los aisladores sísmicos

En Colombia no existe una norma donde se estipulen los ensayos y procedimientos a efectuarse en los aisladores sísmicos, no obstante, a nivel internacional, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), es el organismo encargado de especificar los ensayos en este tipo de dispositivos. La AASHTO recomienda realizar ensayos para determinar las propiedades básicas de los aisladores al ser sometidos a efectos de confinamiento, de frecuencia de cargas, de cargas verticales, y en la dirección de las cargas, además de ensayos para establecer su comportamiento ante cargas sísmicas y no sísmicas. Las recomendaciones de la AASHTO han sido acogidas en países como Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, y la mayoría de países de la Unión Europea (Genatios & Lafuente, 2016).

En América Latina, el único país que ha adaptado las normas de ensayo en aisladores sísmicos es Chile. En este país en el año 2003 se promulgó la norma NCh2745, en la cual se establece que los aisladores sísmicos deben ser sometidos a una secuencia de ensayos. Para realizar los ensayos debe establecerse previamente si los aisladores hacen parte o no del sistema de transmisión de cargas verticales de la edificación (NCh 2745, 2013).

Los ensayos en los aisladores consisten en someterlos a ciclos de movimiento lateral u horizontal que simulan los eventos sísmicos. Si los aisladores no hacen parte del sistema de transmisión de cargas verticales, se debe considerar lo siguiente (NCh 2745, 2013):

- Aplicar una carga vertical igual al promedio $D + 0,5L$, en todos los aisladores de un mismo tipo y tamaño.
- Realizar veinte ciclos completos con inversión de carga para una fuerza lateral correspondiente a la fuerza lateral de diseño para viento.
- Realizar tres ciclos completos con inversión de carga en cada uno de los desplazamientos siguientes: $0,2D_D$, $0,5 D_D$, y $1D_D$, D_M .
- Efectuar tres ciclos completos con inversión de carga al desplazamiento máximo total $1,0D_{TM}$.
- Realizar mínimo 10 ciclos completos con inversión de carga a 1,0 veces el desplazamiento total de diseño $1,0D_{TD}$.

Si los aisladores hacen parte del sistema de transmisión de cargas verticales de la edificación, se deben realizar los mismos ciclos anteriores, pero aplicando una carga vertical igual a $1,2D + 0,5L + |E|_{max}$, ó $0,8D - |E|_{min}$.

Donde:

- D: Carga muerta.

- L: Carga viva.
- $E_{m\acute{a}x}$: Carga s\smica m\acute{a}xima.
- $E_{m\acute{i}n}$: Carga s\smica m\acute{i}nima.
- D_D : Es el desplazamiento de dise\smo (mm) en el centro de rigidez del sistema de aislaci3n en la direcci3n bajo consideraci3n.
- D_M : Es el desplazamiento m\acute{a}ximo (mm) en el centro de rigidez del sistema de aislaci3n en la direcci3n bajo consideraci3n.
- D_{TM} : Es el desplazamiento total m\acute{a}ximo (mm), de un elemento del sistema de aislaci3n incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D_M , como la componente de desplazamiento torsional en la direcci3n bajo consideraci3n.
- D_{TD} : Es el desplazamiento total de dise\smo (mm), de un elemento del sistema de aislaci3n incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D_D , como la componente de desplazamiento torsional en la direcci3n bajo consideraci3n.

En la figura 16 se observa un aislador sísmico siendo sometido a los ciclos descritos anteriormente bajo condiciones de laboratorio.

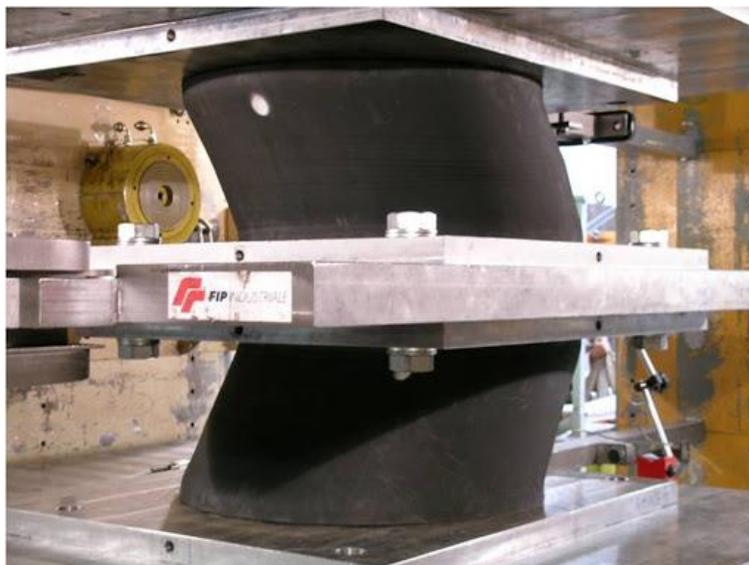


Figura 16. Aislador sísmico ensayado en laboratorio. Sismica.cl, 2021. Obtenido en: <http://www.sismica.cl/?portfolio=aisladores-elastomericos-si>

Otro ensayo requerido para evaluar la calidad de los aisladores sísmicos, es el establecido en la ASTM 3395 *Compresión establecida bajo deflexión constante*. Este ensayo se recomienda debido a que los aisladores se encuentran sometidos a estados de liberación/presión constantes. El ensayo consiste en medir el grosor inicial del aislador, para posteriormente aplicar las cargas suficientes que permitan comprimirlo al 25% de su altura o grosor original. Alcanzado este valor, se libera el aislador, se permite que se recupere durante 30 minutos, y finalmente se vuelve a medir su grosor. El conjunto de compresión del ensayo se expresa como la diferencia entre el grosor original y el espesor final del aislador como porcentaje de la deflexión a la que fue sometida el aislador. En la figura 17 se observa la realización de este ensayo (ASTM D395, 2018).



Figura 17. Aislador sísmico sometido a cargas de compresión. Docplayer.es, 2020. Obtenido en: <https://docplayer.es/84215677-Universidad-de-guayaquil.html>

2.5 Método de instalación

La instalación de los aisladores sísmicos depende del tipo de aislador, de sus dimensiones y de la posición donde se encuentren ubicados dentro de la edificación, sin embargo, de forma general, en todos se realiza el siguiente procedimiento (Meléndez & Gutiérrez, 2019; Méndez, 2020):

1. Colocación de los pernos de anclaje en la estructura de apoyo del aislador. Los pernos de anclaje del soporte del aislador deben ser colocados previamente en la estructura antes del vaciado del concreto. En la figura 18 se observa un aislador compuesto por cuatro pernos de soporte.

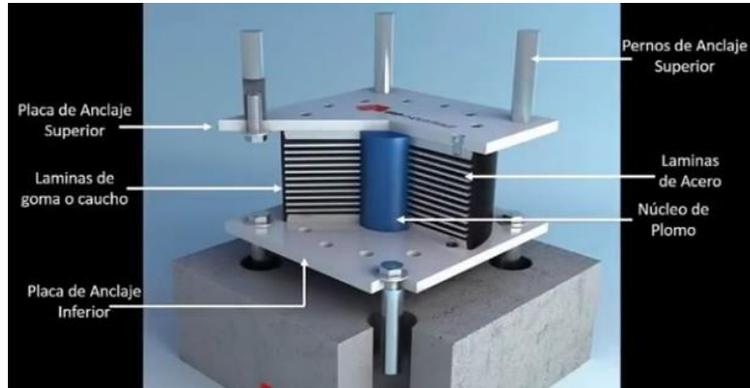


Figura 18. Componentes típicos de un aislador. Obtenido en: <https://www.facebook.com/watch/?v=212743746178879>

2. Verificación de la correcta instalación de los pernos de anclaje. Se prueba que los tornillos que aseguran el aislador en los pernos de anclaje se ajusten correctamente, como se observa en la figura 19.



Figura 19. Verificación de los pernos de anclaje del aislador sísmico. Méndez, C. *Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad*. p. 65.

3. Instalación del aislador sísmico. Para ello se utilizan grúas que faciliten la colocación del aislador en el sitio escogido, como se observa en la figura 20.



Figura 20. Instalación del aislador sísmico. Méndez, C. Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad. p. 66.

4. Ajuste de los tornillos para asegurar el aislador con los pernos de anclaje, como se observa en la figura 21.



Figura 21. Ajuste de tornillos en el aislador sísmico. Méndez, C. Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad. p. 67.

Capítulo 3. Casos de aplicación de aisladores sísmicos en edificaciones

Uno de los principales problemas que aborda la construcción de edificaciones en zonas sísmicas es el dimensionamiento y reforzamiento de sus elementos, pues si se escoge una estructura robusta capaz de reducir las derivas, inmediatamente se vuelven más vulnerables a sufrir aceleraciones de mayor magnitud en los pisos superiores; si por el contrario, se selecciona una estructura más esbelta, se soluciona en parte el problema de las aceleraciones, pero automáticamente se incrementan las derivas. Este dilema de diseño y posterior construcción ha conllevado a que los sistemas de protección sísmica, como los aisladores, sean la solución más adecuada para afrontar tanto las aceleraciones como las derivas producidas por los eventos sísmicos (Pinzón & Martínez, 2014; Nasani & Wassef, 2015).

En términos generales, los diseños sísmicos de edificaciones están basados en tres premisas, la primera es que los sismos de poca magnitud no deben causar ningún tipo de daño al edificio, la segunda es que los sismos moderados pueden causar daños que sean reparables, y la tercera, es que los sismos fuertes pueden causar daños considerables en la edificación, pero no su colapso, de esta forma se preservan las vidas humanas. Algunos estudios indican que una estructura aislada sísmicamente es 5 veces más segura que una estructura convencional fijada al suelo (Pittí, 2013; Sayed, 2012).

Si bien las anteriores son premisas aceptadas universalmente, su importancia está concentrada en aquellos países donde los eventos sísmicos han sido más devastadores. El

Cinturón de Fuego del Pacífico, comprende las zonas sísmicas de mayor frecuencia e intensidad, comprendiendo a países importantes como Japón, Chile, la costa occidental de Estados Unidos, y países latinoamericanos y asiáticos. Colombia se encuentra en esta zona, sin embargo, hasta la fecha solo se registra la construcción de un edificio y un viaducto implementando sistemas de aislación sísmica (Ramírez, F., et al., 2015; Ruiz & Torres, 2018).

En el presente capítulo se abordan algunas de las edificaciones construidas donde se han empleado aisladores sísmicos, y se resaltan las empresas más importantes encargadas de la fabricación y distribución de este tipo de elementos.

3.1 Edificaciones construidas con aisladores sísmicos

A continuación se abordan los ejemplos más representativos sobre la aplicación de aisladores sísmicos.

3.1.1 Edificio Bridgestone Toranomon.

Se encuentra ubicado en la ciudad de Tokio, Japón, en una de las áreas más congestionadas por vías férreas, por lo cual, los aisladores sísmicos, además de mitigar las aceleraciones de la estructura, ayudan a reducir las vibraciones inducidas por el tráfico ferroviario. Cuenta con un

total de 45 aisladores elastoméricos. En la figura 22 se observa este edificio, y en la figura 23 el aislador utilizado (Ruiz & Gutierrez, 2020; Tapia & Veletanga, 2017).



Figura 22. Edificio Bridgestone Toranomon, Japón. G-mark.org, 2021. Obtenido en: https://www.g-mark.org/award/describe/41612?locale=zh_CN



Figura 23. Aisladores sísmicos empleados en el edificio Bridgestone Toranomon, Japón. Gmark.org, 2012. Obtenido en: https://co.pinterest.com/juan_naveda/aisladores-sismicos/

3.1.2 Hospital Takasu.

Es un hospital ubicado en la ciudad de Osaka, la tercera ciudad más poblada de Japón. Osaka, es uno de los puntos de Japón con mayor frecuencia de movimientos sísmicos, por lo que gran parte de sus edificaciones emplean sistemas de protección sísmica. En el hospital Takasu se observa en la figura 24, y el tipo de aislador empleado se muestra en la figura 25.



Figura 24. Hospital Takasu, ubicado en la ciudad de Osaka, Japón. Wikipedia, 2020. Obtenido en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Takasu-hospital-Isshiki-Aichi-001.jpg>



Figura 25. Aislador sísmico usado en el hospital Takasu. Dis-inc.com, 2020. Obtenido en: <http://www.dis-inc.com/media/new-installation-photo.html>

3.1.3 Los Ángeles City Hall.

Es el centro de gobierno de la ciudad de Los Ángeles, California, Estados Unidos. Es uno de los edificios con aislamiento sísmico más altos del mundo. Su sistema de aislamiento está compuesto por 450 aisladores elastoméricos, 70 apoyos deslizantes y 70 amortiguadores viscosos (disipadores). En la figura 26 se observa una vista aérea de este edificio, y en la figura 27 los aisladores empleados.



Figura 26. Edificio Los Ángeles City Hall. KCRW.com, 2020. Obtenido en: <https://www.kcrw.com/news/shows/kcrw-features/george-esparza-la-city-hall-racketeering>



Figura 27. Aislador sísmico usado en Los Ángeles City Hall. Elespañol.com, 2020. Obtenido en: https://www.lespanol.com/omicron/tecnologia/20190604/cuartel-general-apple-no-conectado-secreto-terremotos/403710981_0.html

3.1.4 Hospital Regional de Antofagasta.

Este hospital se encuentra en la ciudad de Antofagasta, Chile. Fue construido entre los años 2014 a 2017 y cuenta con una superficie de 123 mil m². Cuenta con 280 aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB). En la figura 28 se observa una vista general de este hospital, y en la figura 29 el aislador sísmico utilizado.



Figura 28. Hospital Regional de Antofagasta, Chile. Concesiones.cl, 2021. Obtenido en: <http://www.concesiones.cl/proyectos/Paginas/detalleConstruccion.aspx?item=121>



Figura 29. Aisladores usados en el Hospital Regional de Antofagasta, Chile. CDT.CL, 2021. Obtenido en: <https://www.cdt.cl/obras-con-proteccion-sismica-continuidad-operativa/>

3.1.5 Edificio de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior.

Es un edificio público ubicado en la ciudad de Santiago de Chile, Chile. Cuenta con 16 aisladores sísmico elastoméricos HDRB, los cuales son capaces de reducir, según lo indicado por sus diseñadores, hasta un 90% de las aceleraciones de la estructura. En la figura 30 y 31, se observa la vista general de este edificio, y el aislador instalado, respectivamente (Taboada & Fernández, 2019).



Figura 30. Edificio ONEMI, Chile. Pabloblanco.cl, 2021. Obtenido en: <https://www.pabloblanco.cl/edificio-onemi>



Figura 31. Aisladores usados en el Hospital Regional de Antofagasta, Chile. CDT.CL, 2021. Obtenido en: <https://www.cdt.cl/obras-con-proteccion-sismica-continuidad-operativa/>

3.1.6 Edificio de ciencias de la Universidad EAFIT.

Este edificio se encuentra en la ciudad de Medellín, Colombia, fue construido durante los años 2018 y 2019. En el proyecto se utilizaron un total de 12 aisladores sísmicos. En la figura 32 se muestra este edificio, y en la figura 33 el aislador utilizado.



Figura 32. Edificio de ciencias de la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. EAFIT, 2021. Obtenido en: <https://www.eafit.edu.co/escuelas/ciencias/noticias/Paginas/un-edificio-que-cuenta-de-la-transformacion-conciencia.aspx>



Figura 33. Aisladores usados en el edificio de ciencia de la Universidad EAFIT. Méndez, C. *Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad.* p. 49.

3.1.7 Viaducto helicoidal.

Esta estructura se encuentra en el Municipio de Dos Quebradas, Risaralda, Colombia. Fue construido en el año 2014, y es la primera estructura de este tipo en el país en implementar el uso de aisladores sísmicos. En la figura 34 y 35, se observa la vista general de este proyecto y el aislador empleado, respectivamente (Pinzón & Martínez, 2014).



Figura 34. Puente helicoidal en Dos Quebradas, Risaralda. Eje21.com, 2021. Obtenido en: <https://www.eje21.com.co/2010/04/el-viaducto-helicoidal-un-puente-que-parece-tobogn/>



Figura 35. Aisladores usados en el edificio de ciencia de la Universidad EAFIT. Méndez, C. *Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad.* p. 49.

3.2 Empresas fabricantes y distribuidoras de aisladores sísmicos

En Colombia no existen empresas que fabriquen aisladores sísmicos, por lo que toda la producción de estos dispositivos se encuentra fuera del país. En Colombia solo dos empresas se dedican a la distribución de este tipo de aisladores. A continuación se detallan estas empresas, y otras que son referentes en la producción de este tipo de dispositivos a nivel internacional.

3.2.1 Freyssinet Colombia.

Es una empresa de carácter multinacional, con presencia en más de 50 países. En Colombia se dedica principalmente a la producción de anclajes, sin embargo, también distribuye los aisladores sísmicos producidos en otros países. Sus oficinas se encuentran en la Calle 119#13-51 Oficina 301. Puede ser contactada mediante el teléfono 744 2757. Así mismo se puede solicitar más información por medio de su página: web: www.freyssinet.co. En la figura 36 se observa el esquema de uno de los aisladores ofrecidos por esta empresa. Su catálogo se muestra en el Apéndice A (Freyssinet Colombia, 2021).

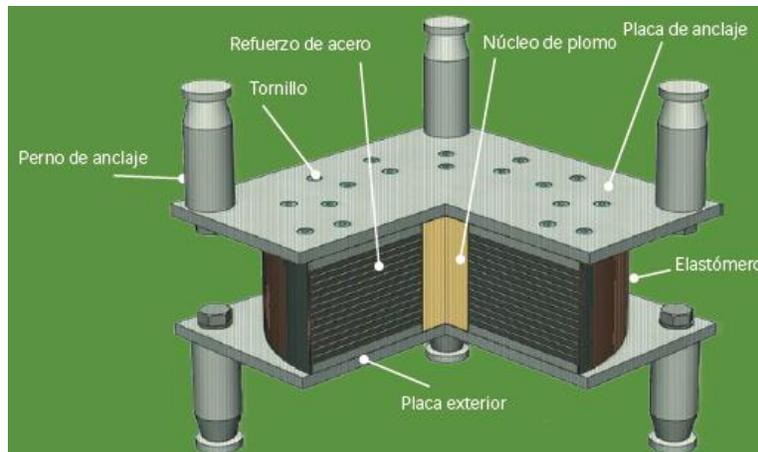


Figura 36. Aislador sísmico distribuido por Freyssinet Colombia. Obtenido de: Catálogo de productos Freyssinet Colombia.

3.2.2 E&M.

Es una empresa colombiana dedicada a la comercialización de aisladores sísmicos, además de apoyos y juntas de dilatación. Se encuentra ubicada en la Carrera 68D No. 17-50 Zona Industrial de Montevideo en la ciudad de Bogotá, Colombia. Puede ser contactada por el teléfono 411 0299, y por el correo electrónico: servicioalcliente@eym.com.co. En la figura 37 se observa un aislador ofrecido por esta empresa. Su catálogo se muestra en el Apéndice B (E&M, 2021).



Figura 37. Aislador sísmico distribuido por E&M. E&M, 2021. Obtenido en: Catálogo de productos E&M.

3.2.3 Dynamic Isolation Systems.

Dynamic Isolation Systems (DIS), es una empresa estadounidense pionera en la fabricación de aisladores sísmicos, cuenta con presencia en más de 22 países, y han fabricado hasta la fecha cerca de 24.000 aisladores, los cuales han sido utilizados en hospitales, puentes, rascacielos, entre otras estructuras. Su sede principal se encuentra en el estado de Nevada, Estados Unidos, y puede ser contactada visitando su página web: www.dis-inc.com/index.html. En la página 38 se observa uno de los aisladores distribuidos por esta empresa en Latinoamérica. El catálogo de productos se muestra en el Apéndice C (DIS, 2021).

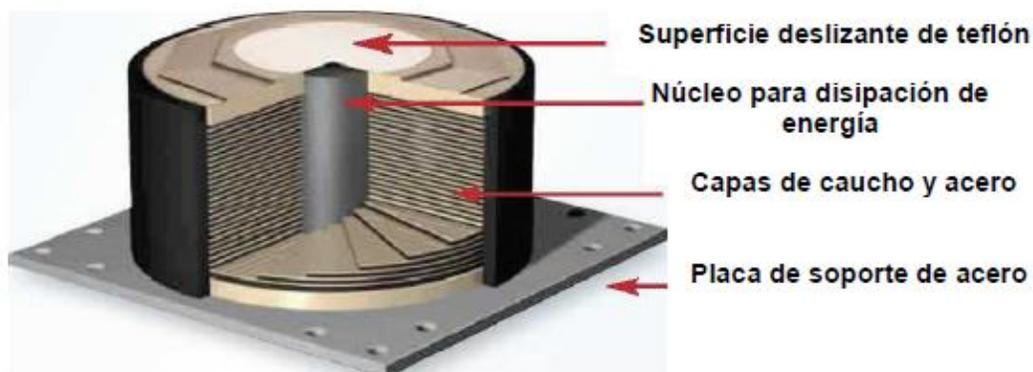


Figura 38. Aislador sísmico fabricado por DIS. DIS, 2021. Obtenido en: Catálogo de productos DIS Latinoamérica.

3.2.4 MAGEBA.

Es una empresa suiza especializada en la fabricación de dispositivos para protección sísmica. Fue fundada en el año 1963, y actualmente tiene filiales en 19 países, y sus productos han sido empleados en cerca de 50 países. Puede ser contactada en su página web: <https://www.mageba-group.com/latam/es/>. En Latinoamérica tienen su sede principal en la ciudad de Querétaro, México, y puede ser contactada a través del teléfono +52-442-388-6600, o del correo electrónico info.latam@mageba-group.com. Su catálogo de productos se muestra en el Apéndice D. En la figura 39 se muestra un aislador fabricado por esta empresa (MAGEBA, 2021)

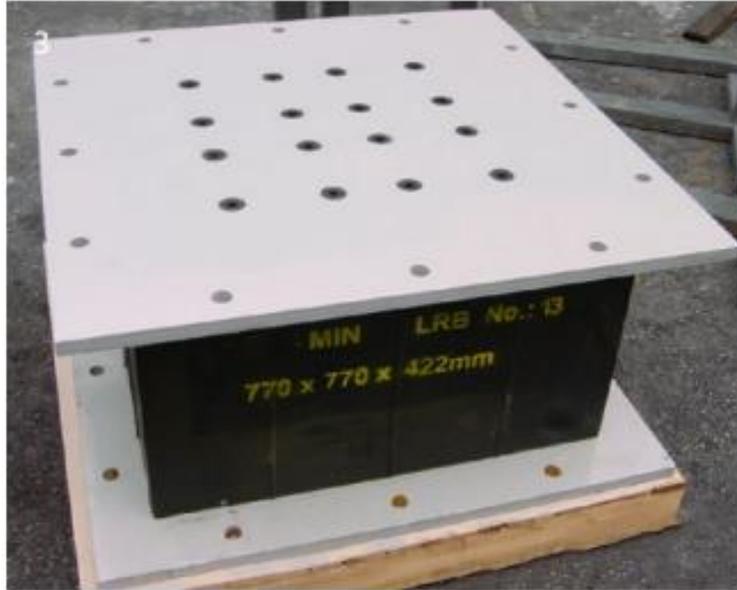


Figura 39. Aislador sísmico fabricado por MAGEBA. MAGEBA, 2021. Obtenido en: Catálogo de productos MAGEBA.

3.3 Construcción crítica del estado del arte de los aisladores sísmicos referentes a la normatividad colombiana

El conjunto de referencias recopiladas y estudiadas en esta monografía indican que actualmente en Colombia no se dispone de una normativa propia referente a la aplicación de aisladores sísmicos. Al emplearse las normas de otros países (FEMA 450 o la ASCE/SEI 7-05), sin un análisis previo de su aplicabilidad al contexto local, se ha incurrido en una serie de inconsistencias técnicas, y en sobrecostos, lo que ha frenado las iniciativas encaminadas en generar mayor difusión de estos dispositivos.

Por lo anterior se pone de manifiesto la necesidad de estudiar las condiciones locales del país para generar una norma de aislamiento sísmico adaptada a las condiciones económicas y técnicas de Colombia, para lo cual se requieren estudios referentes al factor R, el nivel de detallamiento estructural, el comportamiento de los elementos no estructurales, el posible impacto del sistema de aislamiento, entre otros, como lo sugieren diversos autores.

De esta forma se lograría maximizar los beneficios que los aisladores sísmicos brindan a las edificaciones, que son el mantener el comportamiento adecuado ante cualquier carga de servicio, proporcionar la suficiente flexibilidad horizontal que se requiere para alcanzar el período natural establecido para el aislamiento de la estructura, tener capacidad de re-centrado aun después de un fuerte sismo, ya que esto permite evitar la ocurrencia de movimientos residuales que podrían interrumpir el funcionamiento de la estructura, además de controlar los movimientos que de otra manera podrían dañar otros elementos estructurales.

Conclusiones

El desarrollo de esta monografía permitió concluir lo siguiente:

En la actualidad existen 4 tipos de sistemas de control sísmico en edificaciones: pasivos, activos, híbridos y semiactivos. Los sistemas de control sísmico están orientados a lograr que los eventos sísmicos causen el menor daño posible en las edificaciones. La selección del sistema a emplear en cada proyecto está condicionado a factores de diseño y construcción relacionados con el aspecto económico. Dentro de estos sistemas destacan los pasivos, el cual está dividido en dos grupos: aisladores sísmicos, y disipadores de energía; los primeros permiten limitar la energía que ingresa a la edificación, mientras que los segundos aumentan la disipación de energía en el sistema estructural mediante la conversión a calor de la energía cinética.

Los aisladores sísmicos fueron primitivamente utilizados desde la Antigüedad, existen evidencias de construcciones en las que se utilizaba arena, piedra caliza, u otros materiales, con el fin de mitigar la energía que los sismos transmitían a las estructuras. Sin embargo, las primeras edificaciones con un sistema de aislamiento sísmico tecnificado, comenzaron a construirse desde finales del Siglo XIX y principios del Siglo XX. De esta manera, en la actualidad existen varios tipos de aisladores, clasificados en dos grupos: elastoméricos y por desplazamiento, los cuales, según sus características, pueden brindar un amortiguamiento que suele oscilar entre el 5 y el 30% de los movimientos ocasionados por los sismos. Se estima que los aisladores sísmicos permiten aumentar hasta 5 veces la resistencia de las edificaciones ante este tipo de eventos.

Los casos de aplicación con aisladores sísmicos a nivel mundial, muestran que son dispositivos confiables, y existen países con una larga experiencia en su instalación, especialmente Japón, Estados Unidos, Chile, entre otros. En Colombia existen escasos ejemplos de uso de aisladores, debido a que en el país no se cuenta con la tecnología necesaria para su fabricación, y a que el código de diseño sísmico y las normas técnicas no han adaptado su uso a las condiciones locales del país.

Referencias

- Aguiar, R., et al. (2018). *Aisladores de base elastoméricos y FPS*. Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- ASCE/SEI 7-05. (2005). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- Beirami, A., Zamani, G., & Barghian, M. (2020). Base isolation systems - A state of the art review according to their mechanism. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 8(2), 37-61.
- Botella, J., & Zamora, A. (2017). *El meta-análisis: Una metodología para la investigación en educación*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España.
- Castilla, J., & Montes, L. (2011). *Análisis estructural y económico de edificios de 30 pisos en la ciudad de Cartagena, mediante análisis estático y empleando aisladores sísmicos*. Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Chen, R., & Xing, G. (2015). Seismic Analysis of high-rise buildings with composite metal damper. *Matec Web of Conferences*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Documento Técnico, Santiago de Chile, Chile.
- DIS. (2021). www.dis-inc.com/index.html. Obtenido de DIS.

- E&M. (2021). *Escobar y Martínez*. Obtenido de eym.com.co.
- Fasi, N., & Sreemahadevan, P. (2018). The state of the art on seismic isolation of shear wall structure using elastomeric isolators. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(6), 1349-1351.
- FEMA 450. (2003). *Nehrp Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450)*. Federal Emergency Management Agency.
- Freyssinet Colombia. (2021). *Freyssinet.co*. Obtenido de http://www.freyssinet.co/freyssinet/wfreyssinet_co.nsf
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. Publicación Técnica, Corporación Andina de Fomento.
- Gómez, D., Marulanda, J., & Thomson, P. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *75(155)*, 77-89.
- Herrera, M. (2018). *Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Ismail, M. (2018). Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review and a recent development. *Hormigón y Acero*, 69(285), 147-161.
- Izaguirre, A. (2007). *Sistema de aisladores sísmico de base para edificios*. Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., México.
- MAGEBA. (2021). *Mageba-gropu.com*. Obtenido de [mageba](http://mageba.com).
- Meléndez, E., & Gutiérrez, M. (2019). *Diseño y proceso constructivo de instalación de los aisladores sísmicos elastoméricos en la base, en los bloques A y B del nuevo hospital*

- Hipólito Unanue de Tacna*. Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.
- Méndez, C. (2020). *Aislamiento sísmico de megaestructuras en Latinoamérica: Una realidad*. XXXV Congreso Nacional de Ingeniería.
- Morales, A., & Sinchiguano, J. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislación y disipación de energía sísmica*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Nasani, D., & Wassef, M. (2015). Seismic base isolation in reinforced concrete structures. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 2(2), 1-13.
- NCh 2745. (2013). *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*. Norma técnica, NCH.
- Oviedo, J., & Pilar, M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 5, 105-120.
- Patil, S., & Reddy, G. (2012). State of art review - Base isolation systems for structures. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(7), 438-453.
- Pinzón, N., & Martínez, E. (2014). *Estado del arte y modelo didáctico-descriptivo de amortiguadores y aisladores sísmicos*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Pittí, R. (2013). *Estado del arte de los sistemas de protección sísmica para edificios*.

- Ramírez, F., et al. (2015). *Estado del arte de ingeniería sísmica en Colombia*. Compilación, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.
- Ruiz, C., & Torres, A. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo LRB y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/bene*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Ruiz, J., & Gutierrez, J. (2020). *Evaluación del costo directo de implementar aislamiento de base en edificaciones de uso normal en Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia.
- Sarwar, W. (2019). Viscoelastic material as energy dissipater viscoelastic damper for building structures to mitigate the seismic vibration. *SCIENDO Civil and Environmental Engineering Reports*, 29(2), 41-49.
- Sayed, M. (2012). Building with base isolation techniques. *Al-Azhar Engineering Tewelfh International Conference*, 7(1), 147-159.
- Shakeri, H. (2012). A survey study on design procedure of seismic base isolation systems. *JASEM*, 16(4), 299-307.
- Shekhar, S., Prasad, S., & Zafar, S. (2017). Seismic Isolation devices. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 4(4), 336-340.

- Sierra, D., & Páez, D. (2020). *Aisladores sísmicos de base: Un compendio de alternativas*. Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.
- Taboada, D., & Fernández, V. (2019). Seismic response of a five story building with isolation system and supplemental viscous dampers for peruvian seismicity. *Journal TECNIA*, 29(2), 75-79.
- Tafheem, Z., et al. (2015). Seismic isolation systems in structures - the state of art review. *Proceedings of 11th Global Engineering, Science and Technology Conference*, 1-16.
- Tapia, C., & Veletanga, L. (2017). *Diseño de aisladores sísmicos LRB y análisis por desempeño de edificios*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Título A NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Reglamento, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Urbina, O. (2014). *Comparación entre marco de concreto resistente a momentos y marco de concreto con sistemas de protección sísmicos*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Wang, Y. (2020). Fundamentals of Seismic Base Isolation. *International Training Programs for seismic Design of Building Structures*, 1-10.
- Warn, G., & Ryan, K. (2012). A review of seismic isolation for buildings: Historical development and research needs. *Buildings*, 2, 300-325.

Apéndices

Apéndice A. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.

AISLAMIENTO: ISOSISM® HDRB



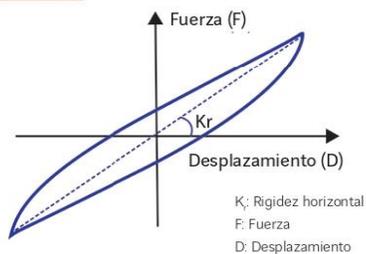
Diseño

- El ISOSISM® HDRB (apoyo de caucho de alto amortiguamiento) es un aislador diseñado usando un bloque elastomérico (caucho natural) reforzado con acero adherido mediante vulcanización. Cumple lo dispuesto por la norma EN 15129 y puede suministrarse con marcado CE a tal efecto.
- Por regla general es un aislador de tipo C (equipado con placas exteriores) fabricado con las dimensiones requeridas para el proyecto. Está disponible en formato redondo o cuadrado. El amortiguamiento que proporciona el ISOSISM® HDRB se debe a la naturaleza del compuesto elastomérico y reduce la aceleración y el desplazamiento de las estructuras durante un episodio sísmico.
- Es posible diseñarlo y fabricarlo siguiendo las especificaciones de otras normas internacionales como la AASHTO, la ASCE, etc.

Principios de comportamiento

Los principios de comportamiento del ISOSISM® HDRB responden al siguiente modelo:

$$F = K_r D$$



Principales propiedades:

- Alta capacidad de recentrado.
- Capacidad de amortiguamiento moderada ($\xi \leq 16\%$ y $\geq 10\%$).
- Desplazamiento máximo moderado.
- No requiere mantenimiento.

Características específicas

El ISOSISM® HDRB tiene numerosas aplicaciones en edificios, plantas nucleares, estructuras de ingeniería civil, etc. Aísla la estructura del movimiento del suelo formando una conexión flexible que incrementa el periodo fundamental de vibración de la estructura que hay que proteger y reduce su aceleración en una relación de dos a tres.



- 1 Reactor ITER - Francia
- 2 Ensayos estáticos y dinámicos de un ISOSISM® HDRB
- 3 ISOSISM® HDRB, reactor ITER - Francia
- 4 ISOSISM® HDRB fijado a una estructura superior



Gama

La composición de la mezcla elastomérica determina la capacidad de amortiguamiento del aislador ISOSISM® HDRB.
 Las características mecánicas del elastómero hacen que el aislador sea capaz de soportar deformaciones sísmicas hasta $\tan\gamma = 2,5$.

Hay tres tipos de mezclas disponibles para diversos valores de amortiguamiento y del módulo G de corte:

- Modelo HDRB 0,4-10: Módulo G=0,4 MPa – Amortiguamiento = 10 % (a $\tan\gamma=1$)
- Modelo HDRB 0,8-10: Módulo G=0,8 MPa – Amortiguamiento = 10 % (a $\tan\gamma=1$)
- Modelo HDRB 1,4-16: Módulo G=1,4 MPa – Amortiguamiento = 16 % (a $\tan\gamma=1$)

Ø: Diámetro

T_i: Altura total del elastómero

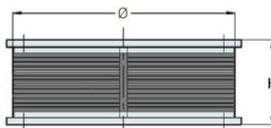
H: Altura total del aislador

Δ_{max}: Desplazamiento horizontal máximo

V_{max}: Carga vertical máxima con cero desplazamiento

V_{seismo}: Carga vertical máxima con desplazamiento máximo

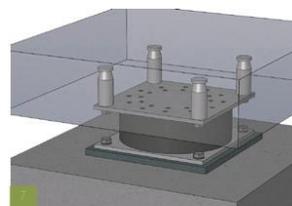
K_i: Rigidez horizontal



Conexiones estructurales

Los aisladores se conectan a las estructuras metálicas mediante pernos y a las estructuras de hormigón con pasadores o tubos de anclaje.

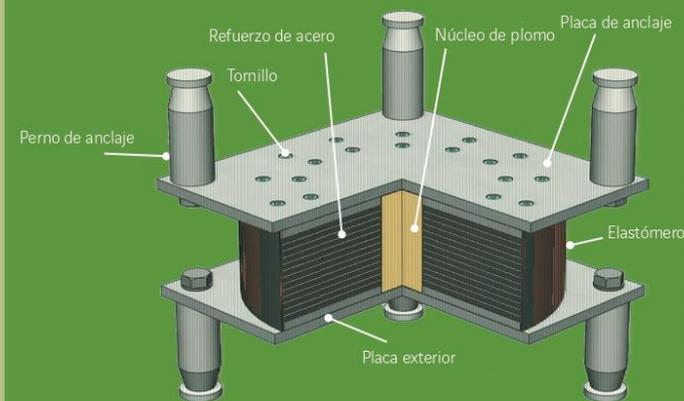
Los dispositivos aisladores ISOSISM® HDRB se pueden instalar en estructuras nuevas o existente.



Ø mm	T _i mm	HDRB 0,4 - 10					HDRB 0,8 - 10					HDRB 1,4 - 16				
		H mm	Δ _{max} mm	V _{max} kN	V _{seismo} kN	K _i kN/mm	H mm	Δ _{max} mm	V _{max} kN	V _{seismo} kN	K _i kN/mm	H mm	Δ _{max} mm	V _{max} kN	V _{seismo} kN	K _i kN/mm
Ø300	45	129	110	1.640	940	0,63	129	95	3.280	1.990	1,26	129	75	5.410	3.760	2,20
Ø300	70	169	170	1.050	320	0,40	169	150	2.110	790	0,81	169	120	3.700	1.740	1,41
Ø350	55	145	135	2.540	1.420	0,70	165	115	5.080	3.050	1,40	165	95	7.430	5.480	2,45
Ø350	75	177	185	1.860	660	0,51	197	160	3.730	1.550	1,03	197	130	6.530	3.080	1,80
Ø400	60	147	150	3.290	1.910	0,84	167	130	6.590	4.060	1,68	167	100	8.150	7.710	2,93
Ø400	90	192	225	2.240	690	0,56	212	195	4.480	1.700	1,12	212	155	7.850	3.640	1,95
Ø450	72	165	180	4.540	2.510	0,88	185	155	9.080	5.230	1,77	185	125	10.380	9.230	3,09
Ø450	108	219	260	3.020	840	0,59	239	230	6.050	1.980	1,18	238	185	1.380	4.250	2,06
Ø500	84	197	210	5.130	2.770	0,93	217	180	10.260	5.810	1,87	217	145	11.030	10.450	3,27
Ø500	126	257	290	3.420	960	0,62	277	270	6.840	2.030	1,25	277	215	11.030	4.670	2,18
Ø550	88	198	220	6.320	3.500	1,08	218	190	11.720	7.470	2,16	228	150	15.630	13.740	3,78
Ø550	144	275	320	3.860	1.090	0,66	295	310	7.720	2.090	1,32	312	250	13.520	4.970	2,31
Ø600	96	209	240	8.260	4.580	1,18	249	205	13.990	9.620	2,36	260	165	18.660	16.890	4,12
Ø600	144	275	350	5.500	1.510	0,79	315	310	11.010	3.560	1,57	332	250	18.660	7.630	2,75
Ø650	108	241	270	9.030	4.920	1,23	272	230	18.070	10.380	2,46	272	185	19.520	18.510	4,30
Ø650	162	313	380	6.020	1.660	0,82	350	350	12.050	3.620	1,64	350	280	19.520	8.180	2,87
Ø700	120	253	300	9.890	5.300	1,28	304	260	19.780	10.990	2,57	315	205	25.520	20.250	4,49
Ø700	170	318	410	6.980	1.940	0,91	374	365	13.960	4.600	1,81	390	295	34.430	9.970	3,17
Ø750	130	286	325	12.070	6.230	1,36	338	280	23.480	12.900	2,72	350	225	29.360	23.260	4,76
Ø750	170	338	425	9.230	2.780	1,04	394	365	18.470	6.770	2,08	410	295	29.360	13.790	3,64
Ø800	132	285	330	14.040	7.690	1,52	336	285	24.330	16.000	3,05	358	225	36.500	28.870	5,33
Ø800	176	341	440	10.530	3.480	1,14	396	380	21.060	8.210	2,28	426	305	36.500	16.640	4,00

Oferta aportada a título indicativo. Es posible suministrar otros modelos previa solicitud.

AISLAMIENTO: ISOSISM® LRB



Vista tridimensional de un ISOSISM® LRB

Diseño

- El ISOSISM® LRB (apoyo de caucho y plomo) es un aislador diseñado usando un bloque elastomérico (caucho natural) reforzado con acero adherido mediante vulcanización. Tiene uno o más núcleos cilíndricos de plomo. La amortiguación que proporciona el ISOSISM® LRB se debe a la naturaleza del compuesto elastomérico y del cilindro de plomo y reduce la aceleración y el desplazamiento de las estructuras durante un episodio sísmico. Cumple lo dispuesto por la norma EN 15129 y puede suministrarse con marcado CE a tal efecto.
- Por regla general es un aislador de tipo C (equipado con placas exteriores) fabricado con las dimensiones requeridas para el proyecto. Está disponible en formato redondo o cuadrado.
- Es posible diseñarlo y fabricarlo siguiendo las especificaciones de otras normas internacionales como la AASHTO, la ASCE, etc.

Principios de comportamiento

Los principios de comportamiento del ISOSISM® LRB responden al siguiente modelo:

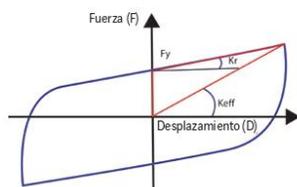
Existen dos posibles estrategias de diseño estructural:

Cálculo lineal:

$$F = K_{\text{eff}} D$$

Cálculo no lineal:

$$F = F_y + K_r D$$



K_y : Rigidez de segundo tramo
 K_{eff} : Rigidez efectiva
 F : Fuerza horizontal
 D : Desplazamiento
 F_y : Fuerza elástica del plomo

La amortiguación se consigue gracias a las propiedades del núcleo de plomo y a la naturaleza del elastómero.

Principales propiedades:

- Alta capacidad de recentrado.
- Alta capacidad de amortiguamiento ($\xi \leq 30\%$).
- Desplazamiento máximo moderado.
- Cero mantenimiento.

Características específicas

El ISOSISM® LRB tiene numerosas aplicaciones en edificios, plantas nucleares, estructuras de ingeniería civil, etc.

Aísla la estructura del movimiento del suelo formando una conexión flexible que incrementa el periodo fundamental de vibración de la estructura que hay que proteger y reduce su aceleración en una relación de dos a tres.



1. Aeropuerto de Antalya, remodelado para equiparlo con aisladores ISOSISM® LRB - Turquía
2. Ensayo con un ISOSISM® LRB
3. ISOSISM® LRB con un núcleo de plomo

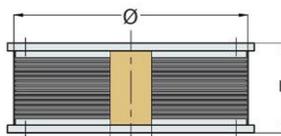


Gama

Hay dos tipos de mezclas disponibles para los distintos valores del módulo G de corte:

- Modelo LRB 0,4 - 10: Módulo G=0,4 MPa
- Modelo LRB 0,8 - 10: Módulo G=0,8 MPa

- Ø: Diámetro del aislador
- $V_{máx}$: Carga vertical máxima con cero desplazamiento
- V_{selsmo} : Carga vertical máxima con desplazamiento máximo
- K_{eff} : Rigidez efectiva del aislador
- H: Altura total del aislador
- T_r : Altura total del elastómero
- $\Delta_{máx}$: Desplazamiento horizontal máximo
- F_y : Fuerza elástica del plomo
- K_r : Rigidez horizontal del elastómero
- ξ_{eff} : Amortiguamiento efectiva
- K_p : Rigidez del plomo



Ø	T_r	LRB 0,4 - 10											LRB 0,8 - 10										
		H	$\Delta_{máx}$	$V_{máx}$	V_{selsmo}	K_r	K_p	F_y	K_{eff}	ξ_{eff}	H	$\Delta_{máx}$	$V_{máx}$	V_{selsmo}	K_r	K_p	F_y	K_{eff}	ξ_{eff}				
Ø300	45	129	110	1.430	820	0,59	5,89	34	0,87	26	129	95	2.380	1.550	1,12	11,17	60	1,70	27				
Ø350	55	145	135	2.200	1.230	0,65	6,53	49	0,98	27	165	115	3.290	2.390	1,25	12,48	80	1,88	27				
Ø400	60	147	150	2.870	1.670	0,79	7,85	60	1,15	26	167	130	3.620	3.200	1,50	14,99	102	2,21	26				
Ø450	72	165	180	3.940	2.180	0,83	8,26	80	1,23	27	185	155	4.580	4.190	1,57	15,71	136	2,37	27				
Ø500	84	197	210	4.380	2.360	0,87	8,67	110	1,34	28	217	180	4.890	4.680	1,67	16,66	165	2,50	27				
Ø550	88	198	220	5.460	3.050	1,01	10,10	119	1,50	27	228	190	6.940	5.900	1,93	19,29	196	2,87	27				
Ø600	96	209	240	6.540	4.010	1,10	11,04	136	1,62	26	260	205	8.250	7.690	2,09	20,94	242	3,17	27				
Ø650	108	252	270	7.870	4.290	1,15	11,50	165	1,70	26	272	230	8.650	8.340	2,19	21,89	280	3,29	27				
Ø700	120	264	300	8.590	4.600	1,20	11,98	196	1,79	27	315	260	11.340	8.980	2,29	22,89	320	3,41	27				
Ø750	130	298	325	10.370	5.530	1,26	12,63	242	1,94	28	350	280	13.000	10.870	2,42	24,17	378	3,64	27				
Ø800	132	296	330	11.220	6.540	1,41	14,08	293	2,21	28	358	285	16.190	12.950	2,71	27,12	425	4,07	27				
Ø850	176	356	440	8.960	3.150	1,06	10,56	293	1,66	28	426	380	16.190	7.220	2,03	20,34	425	3,05	27				

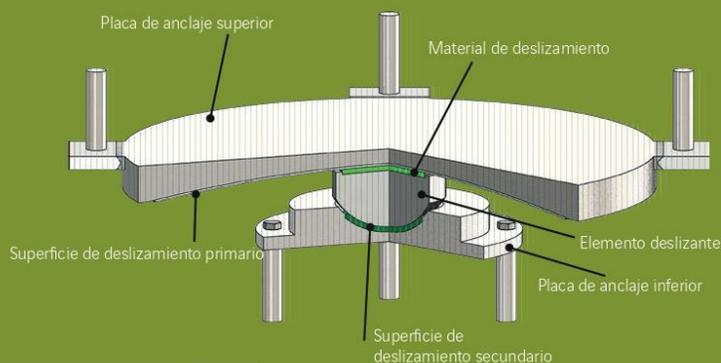
Oferta aportada a título indicativo. Es posible suministrar otros modelos previa solicitud.

Conexiones estructurales

Se pueden usar distintas configuraciones para la instalación en la estructura.

Los aisladores se conectan a las estructuras de acero mediante pernos y a las estructuras de hormigón con pasadores o tubos de anclaje. El principio de fijación es el mismo que en el caso de los aisladores ISOSISM® HDRB.

AISLAMIENTO: ISOSISM® PS



Vista tridimensional de un ISOSISM® PS

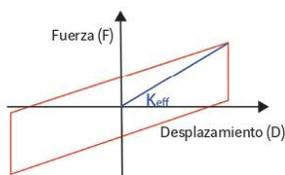
Diseño

- El ISOSISM® PS (sistema de péndulo) es un aislador cuyo diseño se basa en el uso de una o dos superficies esféricas y un elemento deslizante. Cumple lo dispuesto por la norma EN 15129 y puede suministrarse con marcado CE a tal efecto.
- El ISOSISM® PS es adecuado para todo tipo de puentes y edificios. Tiene la propiedad de alinear el centro de rigidez y el centro de gravedad de la estructura aislada. Por lo tanto, evita de forma natural los movimientos de torsión de la estructura en caso de terremoto reduciendo así las fuerzas de corte.
- Es posible diseñarlo y fabricarlo siguiendo las especificaciones de otras normas internacionales como la AASHTO, la ASCE, etc.

Principios de comportamiento

Los principios de comportamiento del ISOSISM® PS responden al siguiente modelo:

$$F = V(\mu + D/R)$$



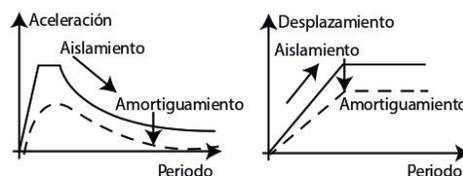
- K_{eff} : Rigidez efectiva
- F: Fuerza horizontal
- D: Desplazamiento
- V: Fuerza vertical
- μ : Coeficiente dinámico de fricción
- R: Radio

Principales propiedades:

- Capacidad de recentrado.
- Alta capacidad de amortiguamiento ($\xi \leq 35\%$).
- Alto desplazamiento relativo.

Características específicas

La rigidez del aislador viene determinada por el radio de las superficies esféricas y su capacidad de amortiguamiento se consigue mediante la fricción entre las superficies de deslizamiento. El aislador PS es un tipo de apoyo que suele aportar la reducción a un tercio de la fuerza horizontal que se ejerce sobre la estructura durante un terremoto.



- Aumentar la flexibilidad lateral instalando el aislador entre los cimientos y la superestructura incrementa enormemente el periodo natural, lo que provoca una reducción de la aceleración y, por tanto, de la fuerza sísmica.
- Dado que disipa la energía durante el movimiento sísmico, el ISOSISM® PS limita el desplazamiento.

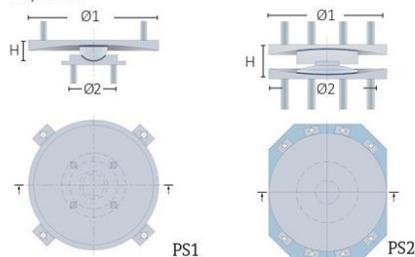


1. Remodelación y equipamiento con el ISOSISM® PS del edificio Orione - Italia
2. Montaje de un ISOSISM® PS
- 3 y 4. Diagramas tridimensionales de un ISOSISM® PS



Gama

La clase de aislador PS escogida depende del tipo de la estructura que haya que aislar, del desplazamiento tolerado y del espacio disponible.



$D_{máx}$: Desplazamiento máximo
 $N_{Ed,máx}$: Fuerza no sísmica máxima
 N_{sd} : Fuerza sísmica máxima
 H : Altura

$N_{Ed,máx}$: Fuerza sísmica máxima
 $Ø1$: Diámetro 1
 $Ø2$: Diámetro 2

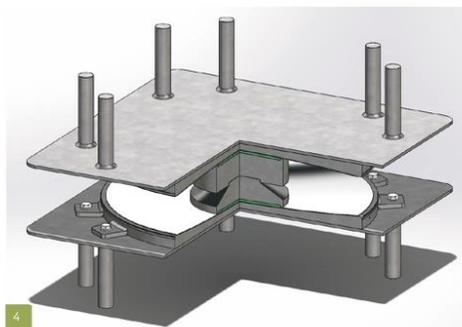
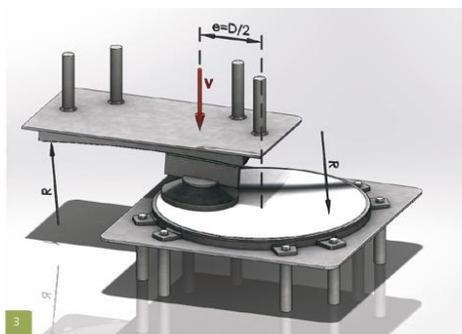
Tipo	$D_{máx}$ ± mm	$N_{Ed,máx}$ kN	N_{sd} kN	PS1			PS2		
				Ø1 mm	Ø2 mm	H mm	Ø1 mm	Ø2 mm	H mm
PS 1000/300	± 150	1.000	800	450	205	100	345	345	180
PS 1000/500	± 250	1.000	800	680	220	105	450	450	180
PS 1500/300	± 150	1.500	1.140	490	250	105	385	385	205
PS 1500/500	± 250	1.500	1.140	720	265	120	490	490	205
PS 2000/300	± 150	2.000	1.540	510	285	115	415	415	235
PS 2000/500	± 250	2.000	1.540	750	310	130	520	520	235
PS 2500/300	± 150	2.500	1.940	530	315	125	445	445	260
PS 2500/500	± 250	2.500	1.940	780	340	135	555	555	260
PS 3000/300	± 150	3.000	2.280	560	345	135	490	490	295
PS 3000/500	± 250	3.000	2.280	800	375	150	600	600	295
PS 4000/300	± 150	4.000	3.080	600	395	145	530	530	335
PS 4000/500	± 250	4.000	3.080	850	430	165	640	640	335
PS 5000/300	± 150	5.000	3.820	640	445	160	555	555	355
PS 5000/500	± 250	5.000	3.820	890	475	180	670	670	360

Oferta aportada a título indicativo. Es posible suministrar otros modelos previa solicitud.

Esta tabla se basa en una fricción nominal del 3 % y un radio efectivo de 4.000mm.

Conexiones estructurales

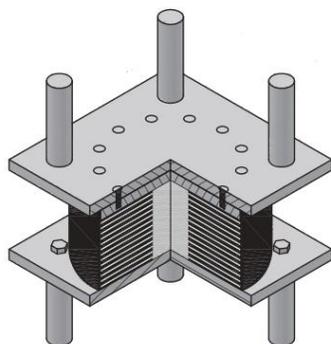
Se pueden usar distintas configuraciones para la instalación en la estructura. Freyssinet ofrece una solución de conexión adecuada para cada configuración.



Apéndice B. Catálogo de productos E&M.



AISLADORES SÍSMICOS



Aislador con Núcleo de Plomo Tipo 1

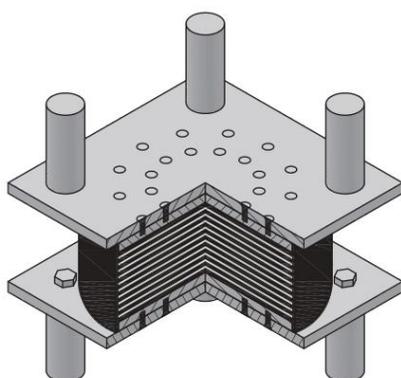
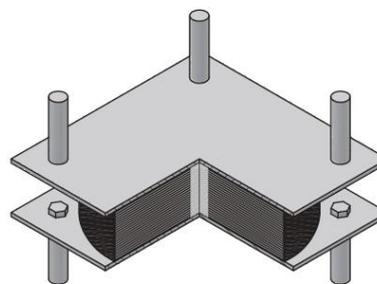
Nota:

En este diseño la lámina de acero de la superestructura superior va unida mediante tornillos bristol a una placa vulcanizada dentro del bloque de neopreno, mientras que la lámina inferior va unida mediante vulcanización al bloque de neopreno.

Aislador con Núcleo de Plomo Tipo 2

Nota:

En este diseño las láminas de acero de la superestructura superior e inferior van unidas mediante vulcanización al bloque de neopreno.



Aislador sin Núcleo de Plomo

Nota:

En este diseño las láminas de acero de la superestructura superior e inferior van unidas mediante tornillos bristol a placas vulcanizadas dentro del bloque de neopreno.

ESPECIFICACIONES PARA AISLADORES SÍSMICOS

El aislamiento sísmico está orientado a reducir las fuerzas inducidas por el sismo a una estructura. La protección sísmica de estructuras busca minimizar los daños a edificios, puentes y salvar vidas en caso de sismos de alta intensidad.

La función principal de los aisladores sísmicos es disminuir la acción sísmica mediante la reducción de las fuerzas horizontales que actúan sobre la estructura durante un terremoto. Esto se consigue con:

- Aumento de la flexibilidad a través de la inserción de aisladores sísmicos entre los cimientos y la superestructura, o entre las columnas y las vigas de una estructura, buscando aumentar en gran medida el periodo, lo que reduce la aceleración espectral, y luego las fuerzas sísmicas sobre la estructura.
- Disipación de energía en forma de calor (histéresis) a través del aislador, permite una reducción adicional de las fuerzas sísmicas.

El amortiguamiento conseguido, está entre el 10% y el 16 % para aisladores sísmicos de sólo goma (HDRB High Damping Rubber Bearing), y del 25 al 30% para aisladores con núcleo de plomo (LRB Lead core Rubber Bearing)

Trabajamos AASTHO GUIDE SPECIFICATIONS FOR SEISMIC ISOLATION DESIGN.
4th EDITION (Prototype Tests, Quality control tests)

TABLA ESPECIFICACIONES AISLADORES SÍSMICOS. AASTHO M251 Y ASTM D 4014			
Especificación	Unidad Medida	Valor	Método de Ensayo
1. Resistencia a la tracción Mínimo	Mpa	15.5	ASTM D412
2. Elongación Última. Mínimo	%	400	ASTM D412
3. Módulo de corte G de 0.3 a 1.5	Mpa	0.3 a 1.5	ASTM D4014
G = 0.55 Mpa amortiguamiento 10% compuesto Blando G = 0.8 Mpa amortiguamiento 10% compuesto normal G = 1.4 Mpa amortiguamiento 16% compuesto duro.			
4. Resistencia a la temperatura 70 horas a 100° C			
Cambio de dureza máximo	%	+15	ASTM D573
Cambio de resistencia a la tensión máximo	%	-15	ASTM D573
Cambio de elongación máximo	%	-40	ASTM D573
5. Compresión set. 22 horas a 100°C máximo	%	35	ASTM D395 Método B
6. Adhesión Caucho Metal mínimo	Lb/in	40	ASTM D 429 método B
7. Plomo pureza	%	99	Fluorescencias de Rayos X. Equipo Oxford X-MET-7000
8. Resistencia al ozono		no debe presentar grietas	ASTM D1149

Se realizan pruebas de calidad y prototipo

ESCOBAR Y MARTÍNEZ S.A. Carrera 68D No. 17 - 30. Bogotá - Colombia.
PBX. (571) 4110299 / 4112688 / 4111750
www.eymproductostecnicos.com / e-mail. ptecnicos.info@eym.com.co

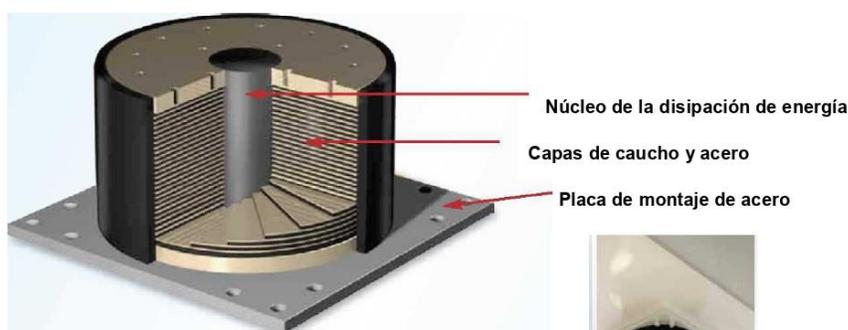


Apéndice C. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislador sísmico

Los aisladores constan de un soporte de caucho y acero laminado, con placas de acero que se conectan a la estructura. El 90% de nuestros aisladores tienen un núcleo de plomo para disipación de la energía.



Este es un Lead Rubber Bearing (LRB) de DIS. Las capas de caucho vulcanizado están laminadas entre placas de acero para formar un soporte estructural flexible (No se muestra la placa de montaje superior.)



Función del aislador

El caucho en el aislador actúa como un resorte. Lateralmente son muy suaves pero muy rígidos verticalmente. La alta rigidez vertical se consigue gracias a las capas delgadas de caucho reforzadas con cuñas de acero. Estas dos características permiten que el aislador se mueva lateralmente con una rigidez relativamente baja, aún llevando una carga axial significativa debido a su elevada rigidez vertical. El núcleo de plomo proporciona la amortiguación deformándose plásticamente cuando el aislador se mueve lateralmente en un terremoto.

Rangos de dimensionamiento

Se fabrican aisladores de 12 a 60 pulgadas de diámetro con una capacidad de hasta 4.000 toneladas. Están disponibles medidas específicas del cliente para aplicaciones especiales.

Fabricación

Las cuñas para los aisladores se cortan con exigentes tolerancias por láser. Las placas de montaje de acero son mecanizadas por fresadoras controladas por ordenador que dan un alto rendimiento de producción y precisión. El moldeo por cada soporte toma de 8 a 48 horas, dependiendo de su tamaño. La fase de curado se controla continuamente para asegurarse de que el caucho se endurece de manera uniforme en todo el soporte.

Nuevas construcciones o reacondicionamiento: Durante más de dos décadas, Dynamic Isolation Systems ha estado ayudando a los arquitectos, ingenieros, empresas e instituciones con la correcta tecnología de protección antisísmica, la cual coincide con las necesidades y requisitos específicos para sus respectivas estructuras.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislador deslizante

Un aislador de deslizamiento consiste en un disco de PTFE (Teflón) que se desliza sobre una placa de acero inoxidable. Una corredera puede estar fabricada con o sin un soporte elastomérico. El control deslizante más común tiene la misma construcción que un aislador con disco de teflón sustituido por una placa de brida.

Función deslizante

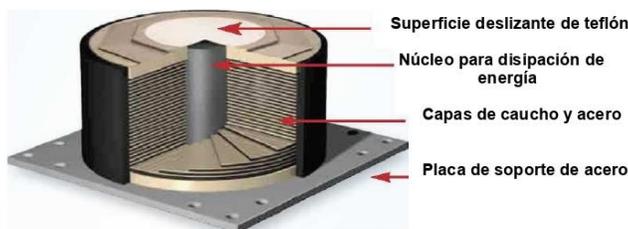
Los deslizadores soportan cargas verticales y tienen una baja resistencia lateral. Se utilizan típicamente junto con los aisladores y permiten que el diseñador optimice el rendimiento del sistema de aislamiento. En algunas aplicaciones se colocan en las partes más ligeras de la estructura, tales como escaleras y columnas de carga ligera. El soporte elastomérico se utiliza para acomodar las rotaciones en la estructura. Un beneficio adicional de los deslizadores es que proporcionan la amortiguación por fricción por deslizamiento.

Rangos de dimensiones

Los aisladores deslizantes son de 12 a 41 pulg de diámetro.

Fabricación del deslizador

Los deslizadores son fabricados con discos de teflón acoplados con una superficie deslizante de acero inoxidable.



Este deslizador fue diseñado específicamente para el Proyecto de Berry Street, en San Francisco. Fue diseñado para deslizarse por 30 pulg, y luego se deforma en cizalla otras 15 pulg, una vez que se acopla a una placa de contención. DIS fabrica y suelda todas las partes del conjunto deslizante en fábrica.

Productos adicionales

Estructuras de acero y sujetadores

Dynamic Isolation Systems procesa más de 2000 tons de acero al año. Las placas de montaje de acero, placas de soporte, pernos de anclaje y sujetadores a menudo son fabricadas y suministradas con los aisladores DIS.

Soportes especiales

Dynamic Isolation Systems diseña y fabrica soportes para aplicaciones no sísmicas, tales como cargadores de buques. El propósito de los soportes es controlar los esfuerzos dentro de la estructura durante la descarga de petróleo en los petroleros.



Puente San Rafael en Richmond:

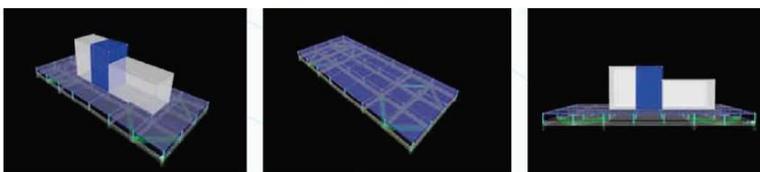
Dynamic Isolation Systems ha desarrollado y fabricados soportes para puentes para Caltrans con una mayor resistencia a la corrosión. Los soportes se encuentran dos metros por encima de la línea de flotación y se fabricaron con una baja permeabilidad del caucho y fabricados en acero inoxidable.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislamiento del piso

El sistema de aislamiento de piso DIS es un nuevo producto desarrollado. El piso cuenta con un reciente invento, una unidad de muelles multi-direccionales que tiene una rigidez muy baja en comparación con un aislador para edificios.

Están disponibles resortes con una rigidez de hasta 30 libras/pulg. El sistema es modular y puede ser utilizado como una aislada plataforma de suelo o como un sistema completo de piso.



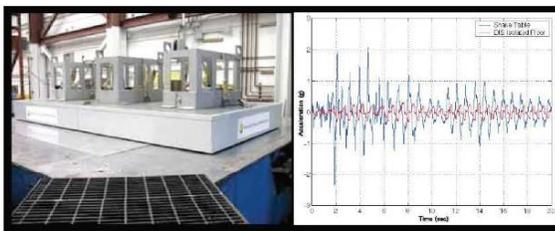
Estos esquemas muestran el modelo informático SAP 2000 de un piso que se puso a prueba en la Universidad de Nevada, Reno. La medida del piso es 14 pies de ancho por 6 pies de profundidad. Hay módulos estándar de 4 pies por 6 pies en cada extremo, los cuales están unidos por largueros de 6 pies de largo. Los módulos se conectan a las unidades de muelles multi-direccionales y contienen rodillo y soportes de deslizamiento. Las baldosas informáticas conforman la superficie superior del piso aislado.

¿De qué manera el aislamiento del piso difiere del aislamiento estructural estándar?

Un sistema de aislamiento de piso se instala en el interior del edificio y no es parte de la estructura. El aislamiento tradicional se instala debajo de columnas y es parte integral de la superestructura. El mismo nivel de protección antisísmica puede lograrse con ambos sistemas.

¿Cuándo el aislamiento de piso es una buena solución de diseño?

El aislamiento de piso es una buena alternativa cuando el aislamiento de todo el edificio no es práctico ni económico. Si usted es un inquilino, el superior rendimiento del aislamiento se puede lograr con el aislamiento de piso dentro del edificio. Los centros de datos, equipos médicos, procesos de fabricación de alta tecnología, obras de arte y productos valiosos tales como vacunas requieren mayor protección sísmica que el proporcionado por una estructura convencional.



El sistema de aislamiento de piso de DIS fue probado en la mesa vibratoria de la Universidad de Nevada, Reno. Se dio un rendimiento excelente que está acorde con nuestros modelos analíticos. Para esta prueba, la aceleración máxima se redujo de 2 g a 0.4 g. Las aceleraciones espectrales también se redujeron hasta por un factor de cinco.

¿Cuál fue nuestro primer proyecto aislamiento de piso?

El primer proyecto de aislamiento de piso fue el Centro de Emergencias del condado de King en Seattle, Washington. El sistema de protección del piso de los equipos de comunicaciones involucró a aislar una losa de hormigón con aisladores de caucho, plomo y rodillos. El nuevo sistema de aislamiento de piso DIS es una solución ágil que permite su uso en cualquier piso de un edificio.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Sección 3: Ingeniería

Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades Americanas

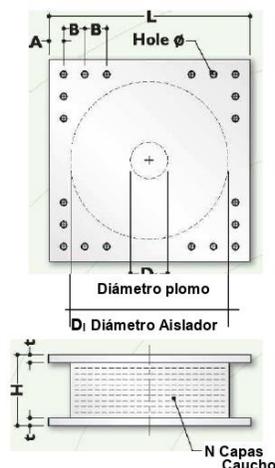
TAMANO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Díametro Aislador, D _i (in)	Altura Aislador, H(in)	Número de capas de caucho, N	Díametro del plomo D _i (in)	L (in)	T (in)	Cantidad orificios	Orificio ø (in)	A (in)	B (in)
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2	-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 55 psi hasta 100 psi.

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_e = 10 \cdot K_d$.

Díametro Aislador, D _i (in)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (in)	Capacidad Carga Axial, P _{max} (kips)
	Rigidez Productiva, K _d (k/in)	Resistencia Característica, Q _u (kips)	Rigidez a la Compresión, K _v (k/in)		
12.0	1-5	0-15	>250	6	100
14.0	1-7	0-15	>500	6	150
16.0	2-9	0-25	>500	8	200
18.0	2-11	0-25	>500	10	250
20.5	2-13	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-16	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-20	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-24	0-50	>4,500	18	700
29.5	3-27	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-30	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-35	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-35	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-35	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-36	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-36	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-37	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-38	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-40	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-41	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-42	0-230	>37,000	36	9,000



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Ingeniería

Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades métricas

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D _L (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 0.38 N/mm² hasta 0.70 N/mm².

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_s=10 \cdot K_d$.

Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento o Máximo, D _{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P _{max} (kN)
	Rigidez Producida, K _d (kN/mm)	Resistencia Características Q _d (kN)	Rigidez a la compresión, K _v (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,800
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



Apéndice D. Catálogo de productos MAGEBA



Protección sísmica

Tipos y características principales

Principio

El aislador de mageba RESTON®PENDULUM se basa en el principio del péndulo. Este dispositivo permite los desplazamientos horizontales de la estructura, proporcionando el cambio necesario en el periodo natural de la misma. Al activarse debido a un terremoto, el aislador permite la disociación de la estructura soportada de los movimientos del terreno. Tras el evento sísmico, la fuerza gravitatoria restaura la posición inicial del dispositivo. El comportamiento del apoyo depende principalmente de su radio de curvatura y coeficiente de fricción.

Propiedades

Los aisladores RESTON®PENDULUM cumplen las siguientes funciones:

- En condiciones de servicio, los dispositivos transmiten cargas verticales y permiten desplazamientos horizontales.
- En caso de sismo, brindan flexibilidad lateral debido al deslizamiento sobre la superficie curva.
- Se produce disipación de energía debido a la fricción dinámica entre la superficie deslizante y el material deslizante de alto rendimiento ROBO®SLIDE.
- Finalmente, la función de re-centrado se consigue combinando la gravedad y las características geométricas del aislador.

Aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico desacopla la estructura de los movimientos del terreno inducidos por terremotos que podrían causar daños a la estructura. Esto se consigue mediante el uso de dispositivos antisísmicos llamados aisladores, que se colocan de manera estratégica en la estructura permitiendo que actúen adecuadamente durante un terremoto.

Los aisladores sísmicos, tales como los RESTON®PENDULUM, proporcionan la suficiente flexibilidad a la estructura para garantizar que su periodo natural difiera del periodo natural del terremoto en la mayor medida posible. Esto evita la aparición de resonancia, que podría conducir a daños severos o incluso al colapso de la estructura.

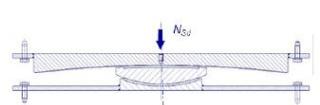
Tipos

RESTON®PENDULUM Mono (PM)

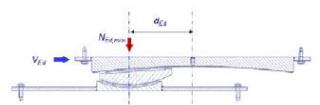
Los aisladores deslizantes de mageba RESTON®PENDULUM Mono consisten en tres elementos básicos: una superficie curva principal, cuyo radio de curvatura determina el periodo de oscilación del dispositivo, un elemento de acero equipado con ROBO®SLIDE que se desliza sobre la superficie primaria, y una superficie curva secundaria de acero diseñada especialmente para permitir las rotaciones. El tamaño de la superficie curva principal depende de los requerimientos sobre el desplazamiento máximo de diseño.



1 a) Condición de servicio



1 b) Condición sísmica



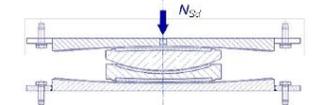
RESTON®PENDULUM Duplo (PD)

Los aisladores deslizantes de mageba RESTON®PENDULUM Duplo incluyen dos superficies curvas principales. Esto permite mayores desplazamientos horizontales con menores dimensiones del aislador. Los dispositivos Duplo disponen de un elemento deslizante equipado con una articulación que permite al aislador acomodar giros. Esta característica resulta esencial, especialmente en el caso de puentes, donde se requieren grandes desplazamientos y capacidad rotacional importante.

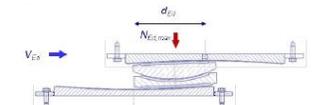
Los planos mostrados a continuación comparan las medidas de los deslizadores RESTON®PENDULUM Mono y Duplo. Los requerimientos dinámicos de ambos tipos son idénticos.



2 a) Condición de servicio



2 b) Condición sísmica



- 1 Elemento articulado oscilante de RESTON®PENDULUM Mono (PM) provee una gran capacidad de rotación
- 2 RESTON®PENDULUM (Duplo) PD



Protección sísmica

Propiedades y beneficios

Materiales

mageba utiliza los siguientes materiales para la producción de los aisladores deslizantes de superficie curva RESTON®PENDULUM:

- Piezas de acero de tipo S355
- Material deslizante ROBO®SLIDE, con y sin relleno de grasa, certificado de acuerdo con la Aprobación Técnica Europea ETA-08/0115
- Lubricante: grasa siliconada certificada
- Superficies de contacto de placas de soporte con cromado duro o de acero inoxidable austenítico pulido (grado 1.4401)

Dimensiones principales

La siguiente tabla detalla las dimensiones principales de los aisladores deslizantes RESTON®PENDULUM Mono y Duplo, en función de la carga vertical y del máximo desplazamiento de diseño.

Protección anti-corrosión

mageba aplica sistemas de protección anti-corrosión de acuerdo con la norma EN ISO 12944 y según la ubicación, las condiciones ambientales y el grado de protección requerido.

Bajo petición, mageba puede proporcionar sistemas de protección contra la corrosión de acuerdo a otros estándares.



1. Tratamiento superficial de los dispositivos RESTON®PENDULUM

Beneficios

- Reducción de demandas en elementos estructurales, posibilitando estructuras más ligeras y económicas
- Aumento significativo de la seguridad sísmica de la estructura y de sus usuarios
- Alta capacidad de carga y geometría compacta
- Capacidad de re-centrado permitiendo a la estructura retornar a su posición inicial tras desplazamientos excesivos
- Simplicidad en el diseño y adaptación a cualquier tipo de estructura
- Aplicable tanto a estructuras nuevas como a existentes
- Larga vida útil debido a los altos estándares de calidad de todos los componentes
- Virtualmente libre de mantenimiento debido a la alta durabilidad de la protección anti-corrosión y el material deslizante
- Tecnología antisísmica probada durante años en estructuras en todo el mundo

PENDULUM PM (Mono)					PENDULUM PD (Duplo)						
Tipo	Carga vertical N_{sd} [kN]	Diámetro de la placa deslizante (mm)				Tipo	Carga vertical N_{sd} [kN]	Diámetro de la placa deslizante (mm)			
		dbd = ±100	dbd = ±200	dbd = ±300	dbd = ±400			dbd = ±100	dbd = ±200	dbd = ±300	dbd = ±400
PM-2	2,000	460	660	860	1,060	PD-2	2,000	317	455	593	731
PM-3	3,000	505	705	905	1,105	PD-3	3,000	348	486	624	762
PM-4	4,000	550	750	950	1,150	PD-4	4,000	379	517	655	793
PM-5	5,000	590	790	990	1,190	PD-5	5,000	407	545	683	821
PM-6	6,000	635	835	1,035	1,235	PD-6	6,000	438	576	714	852
PM-7	7,000	690	890	1,090	1,290	PD-7	7,000	476	614	752	890
PM-8	8,000	735	935	1,135	1,335	PD-8	8,000	507	645	783	921
PM-9	9,000	780	980	1,180	1,380	PD-9	9,000	538	676	814	952
PM-10	10,000	825	1,025	1,225	1,425	PD-10	10,000	569	707	845	983
PM-11	11,000	860	1,060	1,260	1,460	PD-11	11,000	593	731	869	1,007
PM-12	12,000	900	1,100	1,300	1,500	PD-12	12,000	621	759	897	1,034
PM-15	15,000	990	1,190	1,390	1,590	PD-15	15,000	683	821	959	1,097
PM-20	20,000	1,125	1,325	1,525	1,725	PD-20	20,000	776	914	1,052	1,190
PM-25	25,000	1,250	1,450	1,650	1,850	PD-25	25,000	862	1,000	1,138	1,276
PM-30	30,000	1,340	1,540	1,740	1,940	PD-30	30,000	924	1,062	1,200	1,338
PM-35	35,000	1,500	1,700	1,900	2,100	PD-35	35,000	1,034	1,172	1,310	1,448
PM-40	40,000	1,650	1,850	2,050	2,250	PD-40	40,000	1,138	1,276	1,414	1,552
PM-45	45,000	1,760	1,960	2,160	2,360	PD-45	45,000	1,214	1,352	1,490	1,628

dbd: máximo desplazamiento de diseño. Los valores de la tabla superior consideran un radio de curvatura de 3.6m para los aisladores Mono y 7.1m para los Duplo. **Nota importante:** esta tabla debe utilizarse exclusivamente como referencia preliminar para el diseño del aislador. El diseño y los detalles técnicos definitivos se definen una vez se consideran todos los parámetros del proyecto en su fase final, como por ejemplo el periodo natural y las condiciones sísmicas.



Protección sísmica

Características del producto

Principio

El aislador elastomérico con núcleo de plomo de mageba LASTO®LRB trabaja bajo el principio de aislamiento base y limita la energía transferida del terreno a la estructura en caso de terremoto. Este aislador, que consiste en un elastómero reforzado con acero y un núcleo de plomo, está diseñado para soportar el peso de la estructura y proporcionar elasticidad más allá del límite de fluencia. El elastómero consigue aislar y re-centrar el aislador tras un sismo. El núcleo de plomo experimenta una deformación plástica bajo acciones de carga cortantes, disipando energía en forma de calor.

Propiedades

El aislador elastomérico con núcleo de plomo LASTO®LRB consiste en capas alternas de material elastomérico y láminas de acero vulcanizado con un núcleo de plomo. El aislador LASTO®LRB proporciona un alto nivel de amortiguamiento, de hasta el 30 %, debido a la gran capacidad de absorción del núcleo.

Al estar las placas de acero totalmente incrustadas en el elastómero, éstas se encuentran selladas y por lo tanto protegidas contra la corrosión. Los dispositivos se fabrican con el elastómero vulcanizado a las placas de conexión superior e inferior. Los aisladores también pueden suministrarse con placas de anclaje adicionales, permitiendo mayor facilidad de reemplazo en operaciones de mantenimiento.

Aplicaciones

Los dispositivos LASTO®LRB se fabrican con un elastómero natural (NR), proporcionando una alta resistencia al desgaste mecánico.

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo presentan amplias aplicaciones en estructuras. Esto se debe a su simplicidad y a la combinación de aislamiento y disipación de energía en un dispositivo único y compacto. En cuanto a protección antisísmica, resulta crucial minimizar la transferencia de energía a la superestructura y limitar los desplazamientos horizontales del dispositivo.

En condiciones normales de funcionamiento, los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo de mageba actúan como aislado-

res elastoméricos convencionales. Por ello, en aquellas estructuras con espacio limitado para aisladores y dispositivos de protección antisísmica ambas funciones pueden combinarse en un solo dispositivo.

El uso de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo es uno de los métodos de aislamiento más utilizados, habiendo demostrado su efectividad en numerosos terremotos. El sistema ha sido mejorado y simplificado durante las pasadas décadas y permite al ingeniero estructural realizar una simulación de la respuesta del dispositivo de manera sencilla, mediante el uso de modelos bilineares.

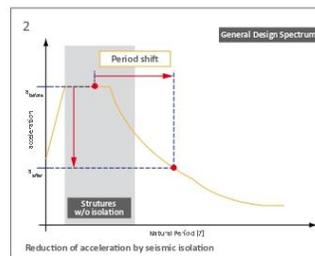
Aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico desacopla la estructura de los movimientos del terreno inducidos por terremotos que podrían causar daños a la estructura. Esto se consigue mediante el uso de una serie de dispositivos antisísmicos llamados aisladores, que se colocan de manera estratégica en la estructura permitiendo que actúen adecuadamente durante un terremoto.

Los aisladores sísmicos proporcionan suficiente flexibilidad a la estructura para garantizar que el periodo natural de ésta difiera del periodo natural del terremoto en la mayor medida posible. Esto evita la aparición de resonancia, que podría conducir a daños severos o incluso al colapso de la estructura.

Un sistema efectivo de aislamiento sísmico debe presentar las siguientes funciones principales:

- Rendimiento óptimo bajo cargas de servicio, verticales y horizontales, siendo tan eficaz como un apoyo estructural convencional.
- Proporcionar la suficiente flexibilidad horizontal para alcanzar el periodo natural deseado para la estructura aislada.
- Capacidad de re-centrado después de la ocurrencia de un gran terremoto para que ningún desplazamiento residual pueda alterar la capacidad de servicio de la estructura.
- Proporcionar un nivel de disipación de energía adecuado con el fin de controlar los desplazamientos que podrían dañar otros elementos estructurales.



- 1 Vista 3D de un dispositivo LASTO®LRB
- 2 Principio de aislamiento sísmico
- 3 Dispositivo LASTO®LRB listo para instalación
- 4 Viaducto de Chillon, equipado con LASTO®LRB



Protección sísmica

Propiedades y beneficios

Materiales

mageba utiliza los siguientes materiales para la producción de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LASTO®LRB:

- Placas de refuerzo, placas superior e inferior: acero al carbono laminado conforme a ASTM A36 o A570
- Elastómero natural tipo NR, grado 3 según la norma ASTM D4014-81
- Plomo con pureza mínima del 99.9 %

Sistema de anclaje

Los dispositivos LASTO®LRB pueden equiparse con placas de anclaje para facilitar la conexión a las estructuras de concreto superior e inferior. Alternativamente, los aisladores pueden prepararse para su conexión a estructuras metálicas.

Protección anti-corrosión

mageba aplica sistemas de protección anti-corrosión de acuerdo con la norma EN ISO 12944 y según la ubicación, las condiciones ambientales y el grado de protección requerido.

Bajo petición, mageba puede proporcionar sistemas de protección contra la corrosión de acuerdo a otros estándares.

Inspección y mantenimiento

Los dispositivos LASTO®LRB no requieren mantenimiento. Las condiciones y posición de los aisladores deben revisarse en intervalos

Beneficios

- Significativa disipación de energía durante terremotos que conducen a un diseño de la estructura optimizado reduciendo así los costos
- Transferencia combinada tanto de cargas de servicio como cargas sísmicas, reduciendo así el espacio requerido por los dispositivos.
- Solución efectiva para una amplia gama de tipos de estructuras
- Eficaz solución para el re-equipamiento o mejora de estructuras existentes
- Su capacidad de re-centrado después de un evento sísmico permite mantener la funcionalidad de la estructura
- Tecnología probada y fiable con varias décadas de trayectoria en muy diversas aplicaciones a nivel mundial



1 Ensayo sobre aisladores LASTO®LRB
2 Producción de aisladores LASTO®LRB

los regulares. Bajo petición, dichas inspecciones pueden llevarse a cabo por parte de especialistas de mageba, informando de los resultados en una memoria detallada.

Dimensiones principales

La siguiente tabla resume las principales dimensiones de algunos de los dispositivos producidos. Los valores para otros parámetros de entrada pueden proporcionarse a petición.

LASTO®LRB – $d_{bo} = 400$ mm										
D (mm)	t_s (mm)	H_s (mm)	N_{sd} (kN)	N_{ed} (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	K_r (kN/mm)	K_{off} (kN/mm)	K_v (kN/mm)	ξ (%)
500	160	326	3,600	1,250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	350	5,950	2,150	420	990	1.45	2.49	1,346	28
700	192	374	8,750	3,450	515	1230	1.8	3.09	1,991	28
800	208	398	10,950	5,100	620	1500	2.17	3.73	2,725	26
900	216	410	16,250	6,750	690	1750	2.65	4.38	3,658	26
1000	224	422	18,750	10,100	760	2030	3.16	5.07	4,693	25

Nota importante: esta tabla debe utilizarse exclusivamente como referencia preliminar para el diseño del aislador. El diseño y los detalles técnicos definitivos se definen una vez se consideran todos los parámetros del proyecto en su fase final.

Legend

d_{sd}	Desplazam. sísmico de diseño	F_1	Fuerza de estiramiento
D	Diám. del bloque elastomérico	F_2	Fuerza horizontal máxima (con d_{sd})
t_s	Altura total del elastómero	K_r	Rigidez horizontal
H_s	Altura total del aislador	K_{off}	Rigidez efectiva
N_{sd}	Carga máxima vertical de servicio	K_v	Rigidez vertical
N_{ed}	Carga sísmica máxima vertical	ξ	Grado de amortiguamiento