

# CARTILLA SISTEMAS DE CONTROL SÍSMICOS EN AMÉRICA LATINA (AISLADORES SÍSMICOS)



PAOLA ANDREA GONZALEZ ACHURY  
FABIO ANDRÉS MOJICA NAVARRO  
ING. JENNIFER SÁNCHEZ LONDOÑO

# INTRODUCCIÓN

Las estructuras enfrentan diferentes riesgos los cuales requieren especial atención por parte de los profesionales que las diseñan con el fin de mitigar los efectos negativos que pueden tener sobre las estructuras. Un riesgo grande y de gran impacto sobre la estabilidad de las estructuras es la presencia de un sismo ya que este genera energía que se traduce en movimiento en la base de las edificaciones | produciendo desplazamientos no deseados en las construcciones, tales desplazamientos dependiendo de su magnitud pueden llegar a producir la falla, afectando a las personas que habiten o usen determinado tipo de estructura que pueda ser afectado por estos eventos indeseables, además de cargas vivas de gran magnitud, vibraciones y todo tipo de movimientos que puedan poner en riesgo la integridad estructural los cuales se puedan mitigar con elementos que se hagan cargo en gran parte de estos movimientos.

# CONTENIDO

1.	OBJETIVOS.....	4
2.	CONCEPTOS SÍSMICOS.....	5
2.1.	CAUSAS DE SISMO.....	6
2.2.	CARACTERÍSTICAS DE SISMO.....	8
2.3.	IMPACTO DE SISMO.....	9
2.4.	EFEECTO DE SISMO EN ESTRUCTURAS.....	10
3.	SISTEMAS DE CONTROL SÍSMICO.....	12
3.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA.....	14
3.1.1	SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO.....	16
3.1.2.	SISTEMAS DE EFECTO DE MASA.....	19
3.1.3.	SISTEMAS DE CONTROL PASIVO CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	20
3.1.4.	SISTEMA DE CONTROL ACTIVO E HÍBRIDO.....	21
4.	AISLADORES SÍSMICOS EN AMÉRICA LATINA.....	22
4.1.	CARACTERÍSTICAS AISLADORES SÍSMICOS.....	23
4.2.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS AISLADORES SÍSMICOS.....	25
4.3.	CONTENIDO NORMA SÍSMICA.....	31
4.4.	NORMATIVA QUE RIGE PAÍSES LATINOAMERICANOS.....	33
4.4.1.	EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICOS EN MÉXICO.....	34
4.4.2.	EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICOS EN COLOMBIA.....	35
4.4.3.	EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN CHILE.....	36
4.4.4.	EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN VENEZUELA.....	37
4.4.5.	EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN PERÚ.....	38
5.	CONCLUSIONES.....	39

# 1. OBJETIVOS

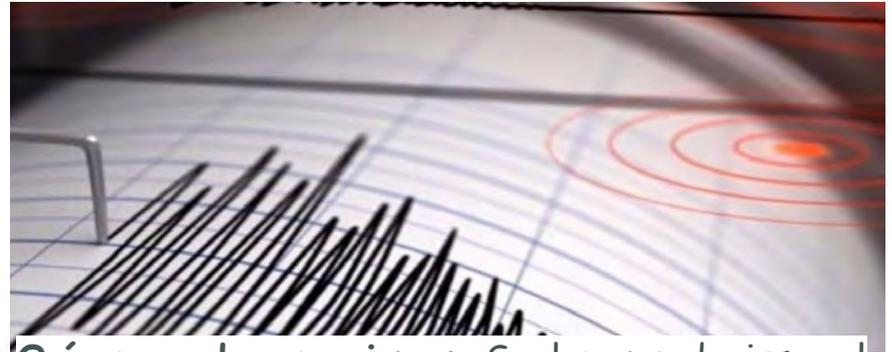
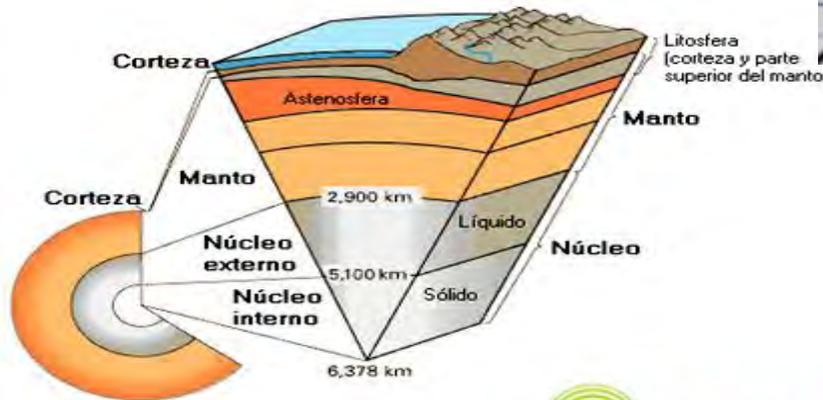
---

- Definición conceptos de sismicidad.
- Descripción métodos existentes para control de sismos en estructuras.
- Identificar funcionalidad de los amortiguadores y disipadores sísmicos.
- Tecnologías vistas que están aplicadas en países de América Latina.



## 2. CONCEPTOS SÍSMICOS

**Sismos**, temblores y terremotos son términos usuales para referirse a los movimientos de la corteza terrestre, sin embargo, técnicamente hablando, el nombre de sismo es más utilizado (terremoto se refiere a sismos de grandes dimensiones).



**Orígenes de un sismo:** Suelen producirse al final de un ciclo denominado ciclo sísmico, que es el período de tiempo durante el cual se acumula deformación en el interior de la Tierra que más tarde se liberará repentinamente. Dicha liberación se corresponde con el terremoto, tras el cual, la deformación comienza a acumularse nuevamente.

## 2.1. CAUSAS DE SISMO

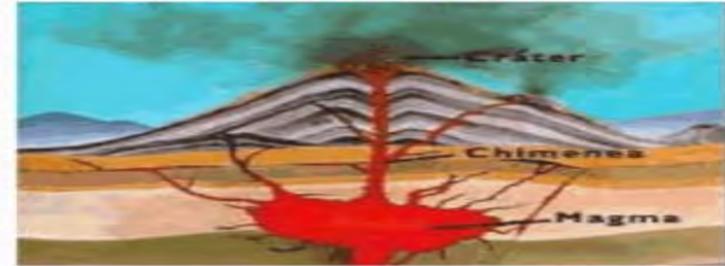
Las causas más generales se pueden enumerar según su orden de importancia en:

**TECTÓNICA:** son los sismos que se originan por el desplazamiento de las placas tectónicas que conforman la corteza, afectan grandes extensiones y es la causa que más genera sismos.

**VOLCÁNICA:** es poco frecuente; cuando la erupción es violenta genera grandes sacudidas que afectan sobre todo a los lugares cercanos, pero a pesar de ello su campo de acción es reducido en comparación con los de origen tectónico.



### Sismos Volcanicos



## 2.1. CAUSAS DE SISMO

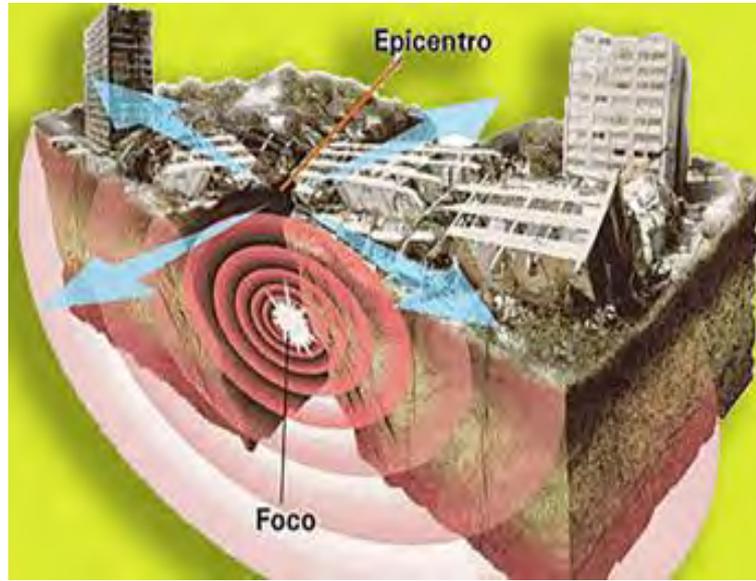
Las causas más generales se pueden enumerar según su orden de importancia en:



**HUNDIMIENTO:** cuando al interior de la corteza se ha producido la acción erosiva de las aguas subterráneas, va dejando un vacío, el cual termina por ceder ante el peso de la parte superior. Es esta caída que genera vibraciones conocidas como sismos. Su ocurrencia es poco frecuente y de poca extensión.

**DESLIZAMIENTOS:** el propio peso de las montañas es una fuerza enorme que tiende a aplanarlas y que puede producir sismos al ocasionar deslizamientos a lo largo de fallas, pero generalmente no son de gran magnitud.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISMO



El punto exacto en donde se origina el sismo se llama foco o hipocentro, se sitúa debajo de la superficie terrestre a unos pocos kilómetros hasta un máximo de unos 700 km de profundidad. El epicentro es la proyección del foco a nivel de tierra, es decir, el punto de la superficie terrestre situada directamente sobre el foco, donde el sismo alcanza su mayor intensidad.

## 2.3. IMPACTO DE SISMO

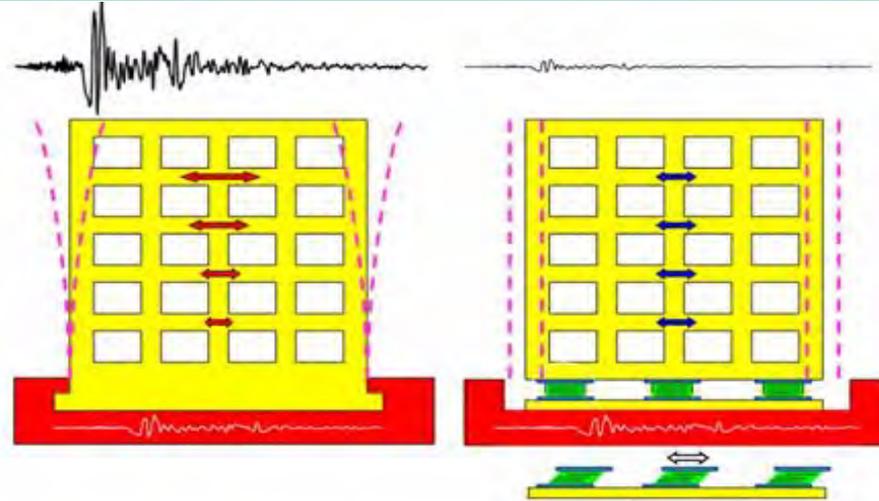
Los efectos de un sismo traen como consecuencia el sacudimiento del suelo, los incendios, las olas marinas sísmicas y los derrumbes, así como la interrupción de los servicios vitales, el pánico y el choque psicológico.



## 2.4. EFECTO DE SISMO EN ESTRUCTURAS

La estabilidad de las estructuras durante un evento de sismo se ven perturbadas por tres efectos principales: cortante basal, volteo y torsión. Estos tres efectos producidos por un sismo generan en la estructura y los elementos estructurales esfuerzos los cuales hacen que vibre generando aceleraciones que aumentan su magnitud proporcionalmente con la altura del edificio haciendo que la deriva entre pisos pueda sobrepasar los límites permitidos.

# EDIFICIO SIN Y CON AISLACIÓN BASAL

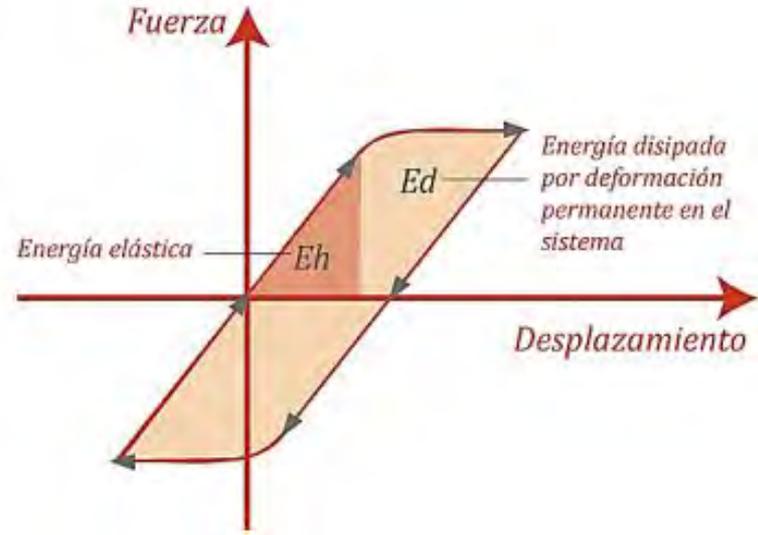


edificio **SIN** aislación basal

edificio **CON** aislación basal

### 3. SISTEMAS DE CONTROL SÍSMICO

Las vibraciones estructurales producidas por sismos o viento pueden ser controladas mediante sistemas de control estructural. Estos sistemas son métodos alternos para disminuir las sollicitaciones (fuerzas internas) de una estructura, mejorando sus propiedades dinámicas con base en esquemas de control pasivo, activo semiactivo e híbrido.



# SISTEMAS DE CONTROL ESTRUCTURAL



### 3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA

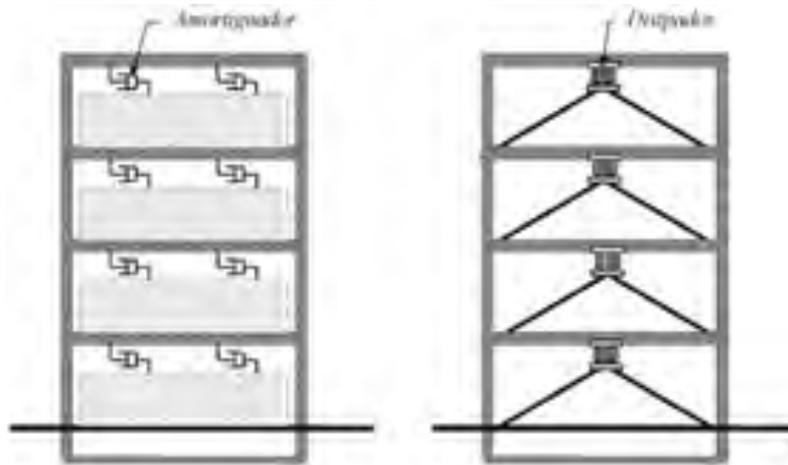


Figura 8. Técnica de control pasivo con disipadores de energía

Las técnicas de control de respuesta sísmica se pueden clasificar según la forma como el sistema maneja la energía impuesta por el sismo, su absorción y disipación. Se conocen como sistemas de disipación de energía aquellos que aportan al término  $E_p$  (Energía potencial)

Sistema de Control	Tipo	Tipo	Dispositivo	
Control pasivo	Aislamiento sísmico	Mecanismos deslizantes o de rodillos	Apoyo de rodillos	
			Apoyo de placa deslizante, tipo péndulo, basculante	
			Capa deslizante	
			Otros	
		Elemento flexible	Elastómero de multicapas	
			Dispositivo flexible	
	Disipación de energía	De tipo histerético	Acero	
			Plomo	
			Otros	
		De tipo friccionante		
		De tipo fluido	Hidráulico	
			Viscoso	
			Otros	
		De tipo viscoelástico		
Efecto de masa adicional	De masa y resorte			
	De tipo pendular			
	Vibración de líquido			
	Otros			
Otro				
Control semiactivo	Control de amortiguamiento	Sistema de amortiguamiento variable	De tipo hidráulico	
			Otro	
	Control de rigidez	Sistemas de rigidez variable	Riostra	
			Otro	
Otro				
Control activo e híbrido	Efecto de masa	Amortiguamiento activo de masa		
		Amortiguamiento híbrido de masa		
	Control de fuerza	Tendón activo		
		Otro		
Otro				

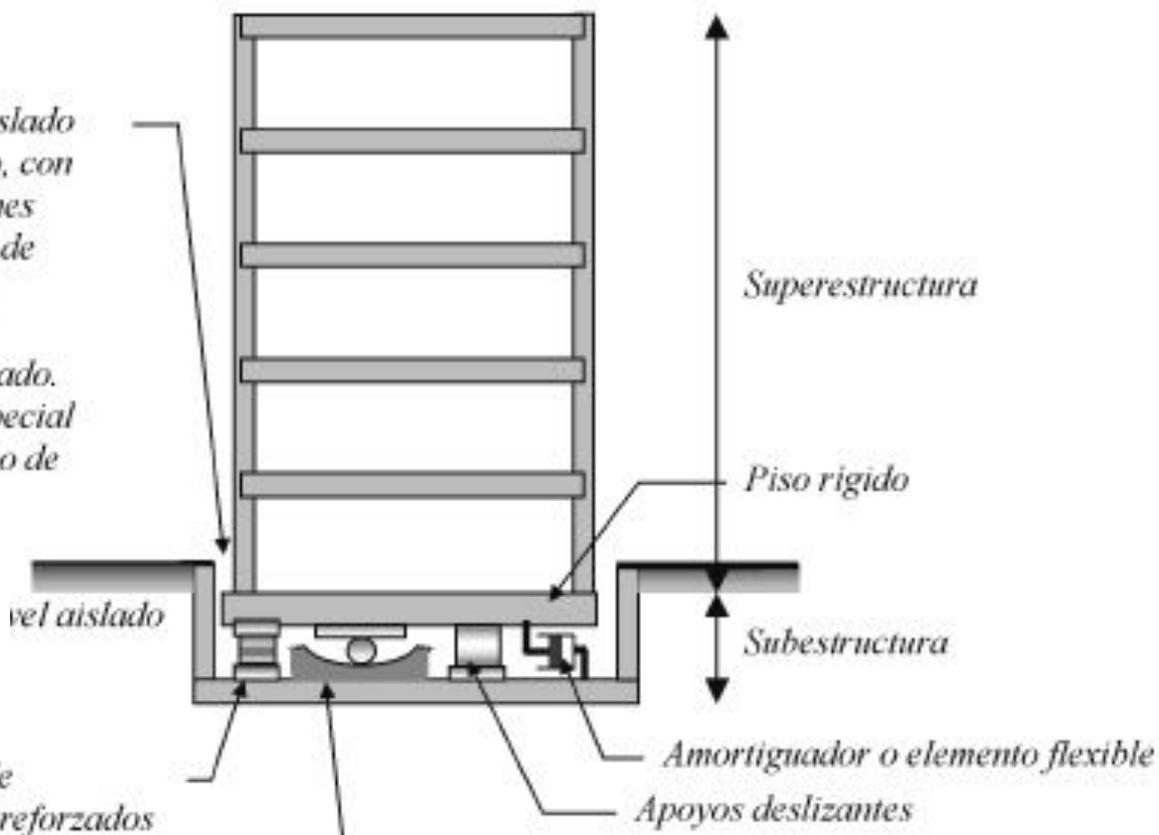
### 3.1.1 SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO

Sistemas de Aislación y Disipación Sísmica, son sistemas presentes entre la subestructura y la superestructura de edificios

En el sistema de aislamiento sísmico en la base se instalan dispositivos, generalmente en el nivel más bajo del edificio, con el fin de que absorban, de forma parcial, la energía impuesta por el sismo antes de que sea transmitida a la superestructura.



Edificio aislado del terreno, con instalaciones especiales de acueducto, energía y alcantarillado. Diseño especial para el foso de ascensor.



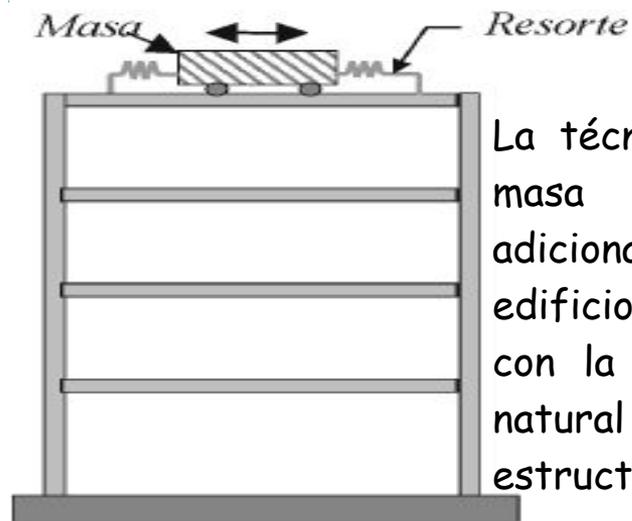
Aisladores de elastómeros reforzados o de caucho natural con núcleo metálico

## SISTEMA AISLACIÓN SÍSMICA

Las principales características que debe cumplir este tipo de aisladores son la alta rigidez vertical, la flexibilidad horizontal, la rigidez torsional, la durabilidad, la resistencia a cambios de temperatura y la resistencia a fuerzas cortantes, propiedades que deben ser comprobadas en laboratorio antes de ser utilizados en un edificio.

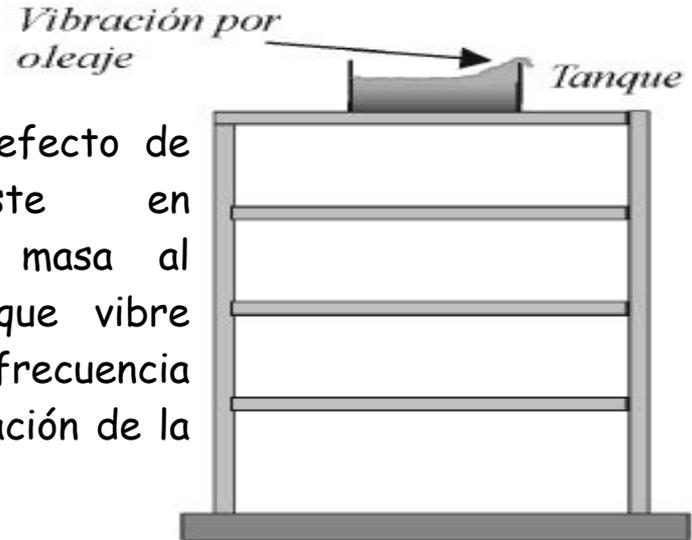


### 3.1.2. SISTEMAS DE EFECTO DE MASA



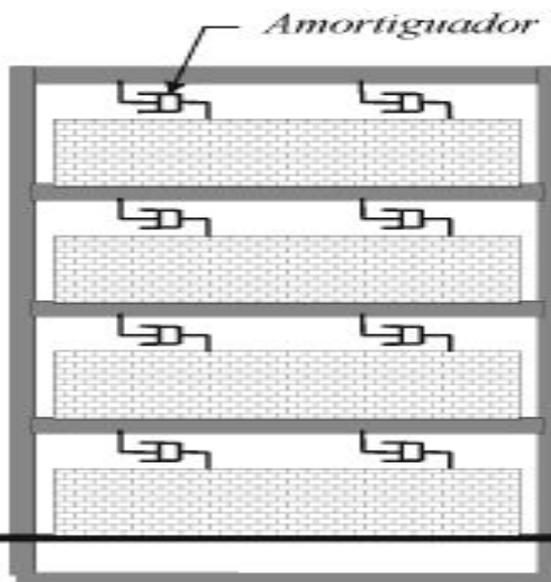
TMD

La técnica de efecto de masa consiste en adicionar una masa al edificio para que vibre con la misma frecuencia natural de vibración de la estructura.

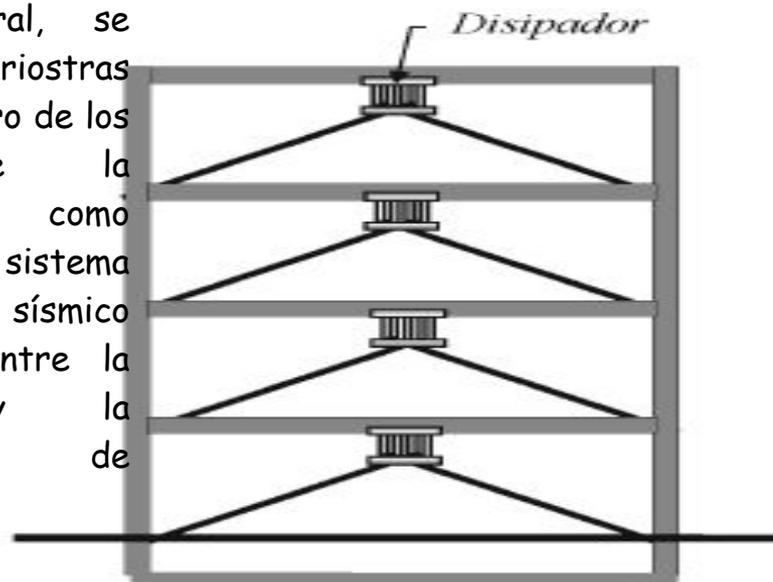


TLD

### 3.1.3. SISTEMAS DE CONTROL PASIVO CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA

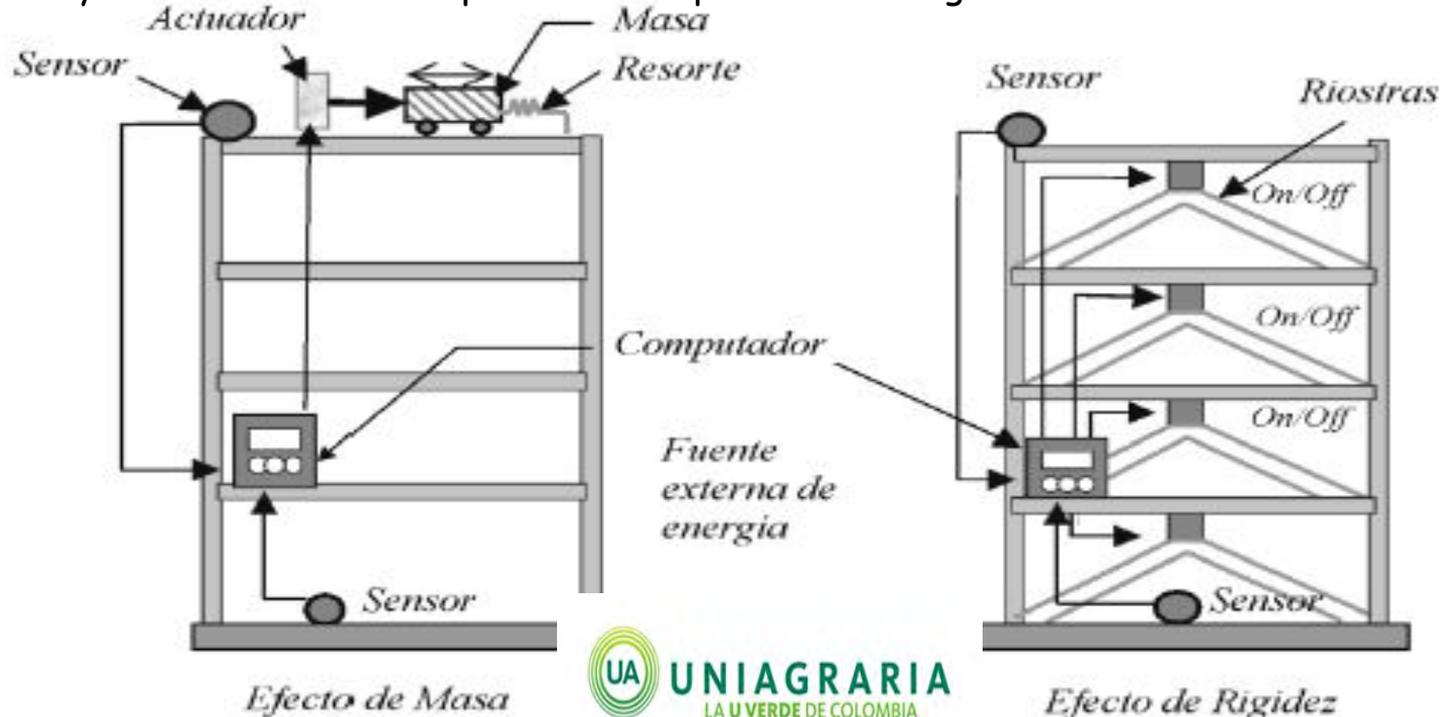


Por lo general, se instalan en riostras diagonales dentro de los pórticos de la estructura o como complemento al sistema de aislamiento sísmico en la base, entre la fundación y la plataforma de aislamiento.

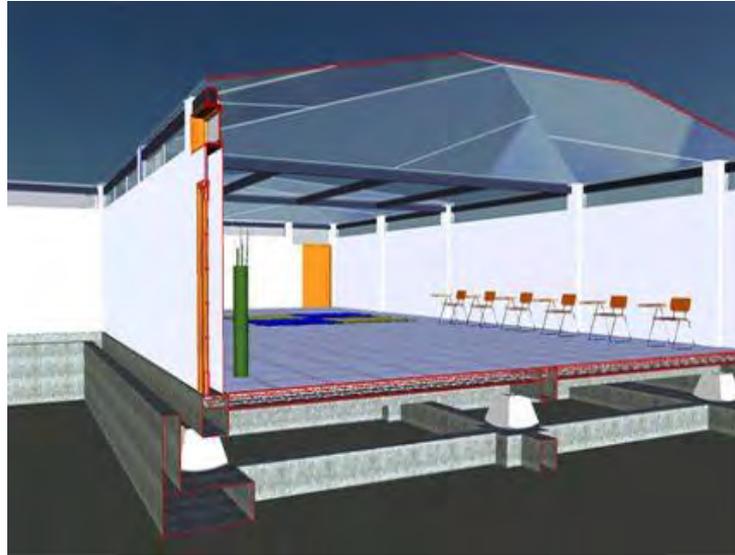


### 3.1.4. SISTEMA DE CONTROL ACTIVO E HÍBRIDO

Entre los dispositivos utilizados en esta técnica se cuenta con sistemas de efecto de masa y sistemas de control pasivo de disipación de energía.



## 4. AISLADORES SÍSMICOS EN AMÉRICA LATINA

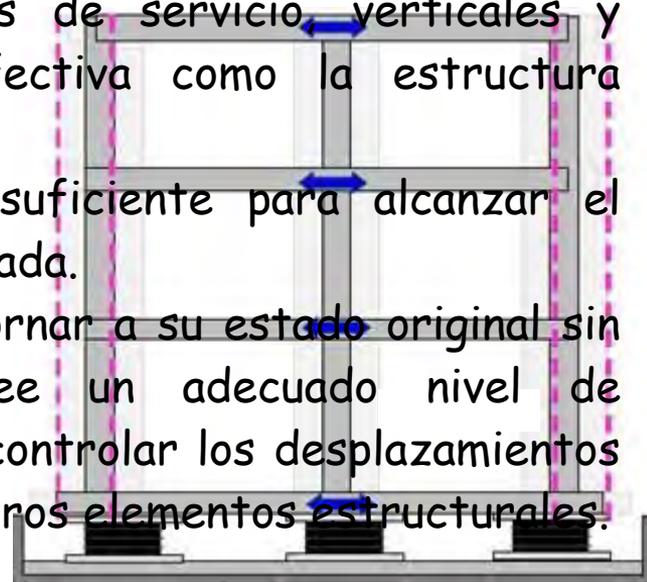


En la actualidad, países como Argentina, México y Chile han implementado estos sistemas según cada de una de las necesidades en sus ciudades.

Uno de los países que actualmente sobresale por implementar en gran parte estos sistemas, debido a eventos sísmicos repetitivos, de alta magnitud con graves consecuencias a nivel social como económico es Chile.

## 4.1. CARACTERÍSTICAS AISLADORES SÍSMICOS

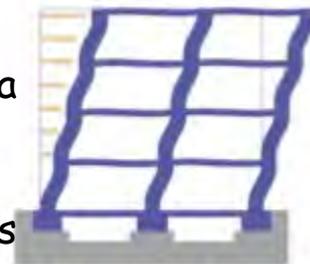
- Desempeño bajo todas las cargas de servicio, verticales y horizontales. Deberá ser tan efectiva como la estructura convencional.
- Provee la flexibilidad horizontal suficiente para alcanzar el periodo natural de la estructura aislada.
- Capacidad de la estructura de retornar a su estado original sin desplazamientos residuales. Provee un adecuado nivel de disipación de energía, de modo de controlar los desplazamientos que de otra forma pudieran dañar otros elementos estructurales.



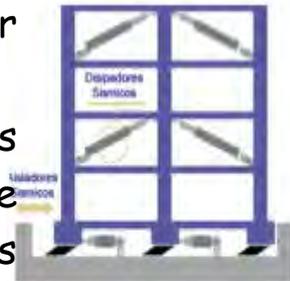
# CARACTERÍSTICAS AISLADORES SÍSMICOS

En general, esta vida útil ha sido establecida como de 50 años, para la mayoría de las edificaciones:

- Para sismos frecuentes, las estructuras no deben sufrir daños, ni en los elementos estructurales ni los no estructurales o arquitectónicos, y deben mantenerse operativas y en funcionamiento.
- Para sismos intermedios, poco frecuentes, la estructura puede sufrir daños que deben ser reparables.
- Para sismos severos, se permite que la estructura sufra daños generalizados y hasta pueda llegar a quedar inservible, pero sin que ocurra el colapso global de la edificación, a fin de preservar las vidas humanas.



Estructura Sin Protección Sísmica



Estructura Con Protección Sísmica

## 4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS AISLADORES SÍSMICOS

### Conjunto de Ventajas:

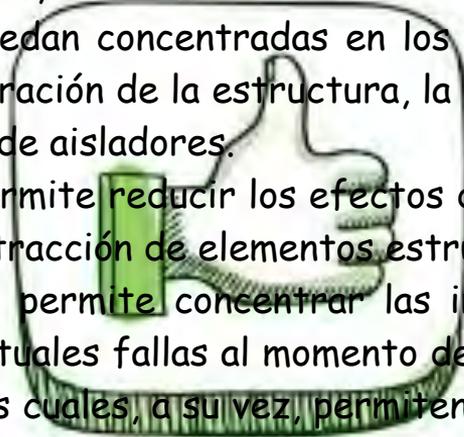
---

- La reducción de las solicitaciones sobre los miembros estructurales trae como consecuencia que sus dimensiones pueden disminuir, con lo que se presentan ventajas desde el punto de vista arquitectónico. Entre las consideraciones de diseño hay que prever el espacio circundante alrededor de la edificación que debe permitir el libre movimiento de esta. Este espacio debe concebirse de manera tal que facilite el fácil acceso para la verificación del estado de los aisladores y su eventual sustitución, a la hora de presentar daño.
  - La presencia del sistema de aisladores y su correcto diseño y distribución contribuye a reducir los efectos de la torsión en la respuesta sísmica.
-

## Conjunto de Ventajas:

---

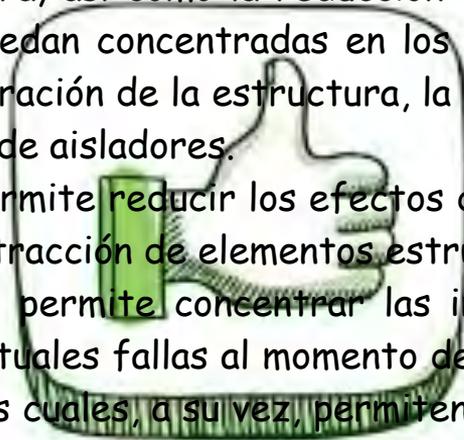
- En términos generales, la presencia del sistema de aisladores permite la reducción de los daños en la estructura, así como la reducción de los daños no estructurales. Las zonas de mayor daño quedan concentradas en los aisladores, por lo que resulta más fácil la inspección y reparación de la estructura, la cual puede inclusive lograrse con la reparación o sustitución de aisladores.
  - El aislamiento sísmico permite reducir los efectos de tensiones residuales que pueden ser provocados por la retracción de elementos estructurales.
  - El uso de los aisladores permite concentrar las incertidumbres sobre los procesos constructivos y sus eventuales fallas al momento de la ocurrencia de un terremoto, en los mismos aisladores, los cuales, a su vez, permiten un mejor control de calidad que el que tradicionalmente se puede conseguir cuando se construye una edificación, especialmente en países en los que la mano de obra no es muy calificada.
- 



## Conjunto de Ventajas:

---

- En términos generales, la presencia del sistema de aisladores permite la reducción de los daños en la estructura, así como la reducción de los daños no estructurales. Las zonas de mayor daño quedan concentradas en los aisladores, por lo que resulta más fácil la inspección y reparación de la estructura, la cual puede inclusive lograrse con la reparación o sustitución de aisladores.
  - El aislamiento sísmico permite reducir los efectos de tensiones residuales que pueden ser provocados por la retracción de elementos estructurales.
  - El uso de los aisladores permite concentrar las incertidumbres sobre los procesos constructivos y sus eventuales fallas al momento de la ocurrencia de un terremoto, en los mismos aisladores, los cuales, a su vez, permiten un mejor control de calidad que el que tradicionalmente se puede conseguir cuando se construye una edificación, especialmente en países en los que la mano de obra no es muy calificada.
- 



## Conjunto de Ventajas:

---

---

- Una de las mayores ventajas del uso de aisladores sísmicos es que la operatividad de las estructuras puede recuperarse inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, en la medida en que se logran los objetivos de desempeño previstos.



## Conjunto Desventajas:

- La primera dificultad es la asociada a la presencia de grandes desplazamientos en la base de la estructura, y como consecuencia del comportamiento de cuerpo rígido, en toda la estructura de manera simultánea (con mínimos desplazamientos relativos). Estos grandes desplazamientos se concentran en la zona de la edificación en la que se colocan los aisladores, los cuales, en la mayoría de los casos van sobre las fundaciones, pero en muchos casos, especialmente en estructuras que han sido reparadas o reforzadas con aisladores sísmicos, pueden requerir ser colocados en niveles intermedios, en la parte baja de la estructura. Los desplazamientos pueden tener un orden de entre 20 cm y 50 cm para fuertes terremotos. En la mayoría de los casos, el espacio necesario para permitir los desplazamientos se prevén en la zona inferior al primer piso, por lo que el plano de aislamiento queda a nivel inferior al suelo. Pero otras soluciones pueden también desarrollarse.

## Conjunto Desventajas:

- La presencia de estos grandes desplazamientos introduce consideraciones especiales como son la de incorporar un piso adicional.
- Los grandes desplazamientos pueden afectar estructuras vecinas. Estos daños en estructuras vecinas pueden producir la caída de residuos que podrían introducirse en los espacios necesarios para que la edificación aislada pueda moverse; si esto ocurre, se pierde la capacidad de aislamiento.
- Entre las limitaciones debe considerarse el espacio circundante alrededor de la edificación que debe permitir el libre movimiento de esta. Este espacio debe concebirse de manera tal que facilite el fácil acceso para la verificación del estado de los aisladores y su eventual sustitución, a la hora de presentar daño.
- Los grandes desplazamientos adicionales introducen requerimientos especiales de flexibilidad de las juntas de las tuberías de los sistemas de servicio para la edificación, como son agua potable, aguas servidas, gas, electricidad, telecomunicaciones, etc ya que estas tuberías cruzan el plano de aislación.

## 4.3. CONTENIDO NORMA SÍSMICA

Los aspectos que cubren las normas son, como mínimo, los siguientes:

- Determinar los objetivos de desempeño y los lineamientos del diseño que aplican para una edificación.
- Describir y cuantificar la amenaza sísmica en el sitio de la construcción.
- Determinar las cargas sísmicas de diseño que actuarán sobre la estructura y las combinaciones y casos de carga que deban contemplarse en el análisis.
- Elegir el sistema estructural de la edificación y los parámetros de diseño que aplican en su caso.
- Determinar el modelo matemático adecuado para representar a la estructura.
- Seleccionar el método de análisis adecuado para determinar la respuesta sísmica de la estructura en términos de: desplazamientos, deformaciones, fuerzas y solicitaciones sobre los elementos estructurales que se utilizarán para su diseño.
- Verificar los objetivos de desempeño en la estructura diseñada y el cumplimiento de los requerimientos normativos mínimos de seguridad.
- Diseñar y detallar los elementos estructurales que componen la edificación, incluyendo fundaciones.

Las normas, sobre todo las más recientes, también incluyen otros temas, que cubren, por ejemplo:

- Diseño de componentes no estructurales de la edificación.
- Rehabilitación de estructuras existentes
- Interacción suelo-estructura
- Estudios de sitio
- Diseño de estructuras aisladas sísmicamente o con amortiguadores.
- Requerimientos de diseño sísmico para estructuras distintas a edificios (presas, puentes, estructuras hidráulicas, tanques, tuberías, etc)
- Procedimientos simplificados para viviendas de baja altura.



## 4.4. NORMATIVA QUE RIGE PAÍSES LATINOAMERICANOS

- México: NTCDS -2016. "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo".
- Colombia: NSR-10. El reglamento para edificaciones sismorresistentes es la Norma NSR-10.
- Chile: NCh433 de Diseño Sísmico de Edificios.
- Venezuela: Norma Covenin 1756-1:2001. Edificaciones sismorresistentes.
- Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones RNE



## 4.4.1. EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICOS EN MÉXICO

**Edificio Izazaga, Torre Mayor y otros casos en Ciudad de México**



Amortiguador sísmico



Amortiguador con fluidos viscosos

## 4.4.2. EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICOS EN COLOMBIA

Viaducto La Estampilla, Vía Santa Rosa - Manizales



Aislador de péndulo por fricción

## 4.4.3. EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN CHILE

Puente Amolanas en Chile



Disipador de energía de fluido viscoso

## 4.4.4. EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN VENEZUELA

Edificio Pietrasanta



Amortiguador "paletas estructurales"

## 4.4.5. EJEMPLO DE USO AISLADORES SÍSMICO EN PERÚ

**Aeropuerto Jorge Chávez y otras estructuras en Lima**



Disipador Sísmico

## 5. CONCLUSIONES

---

---

- Los aisladores sísmicos disipan la energía que es producida por los eventos de sismo, posibilitando el desacoplamiento del edificio con la cimentación, haciendo que en los apoyos inferiores no se produzca acumulación de energía y que en los pisos superiores no aumente la aceleración que causa la deformación del pórtico.
  - Al reducir la demanda sísmica, minimiza posibles daños en los elementos estructurales, reduce el valor de las derivas y además de proteger la estructura de un colapso, permite que siga siendo funcional; ya que los elementos estructurales no sufren deformaciones.
  - El uso de cualquier tipo de aislador o disipador de energía representa una mejora en el comportamiento de una estructura ante un evento sísmico.
- 
-

## 5. CONCLUSIONES

---

---

- Al reducir el valor de las derivas, esto minimiza posibles daños en los elementos estructurales.
  - La incorporación de estos sistemas de control sísmicos en las estructuras posibilitan que estas continúen siendo funcionales y eficiente después de ocurrido un evento de sismo.
  - Los sistemas de control de amortiguamiento y disipación sísmica son dispositivos accesibles y se podría implementar su tecnología en cualquier país, sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de caracterizar sus propiedades dinámicas y mecánicas, indispensables para llevar a cabo un diseño estructural seguro.
- 
-