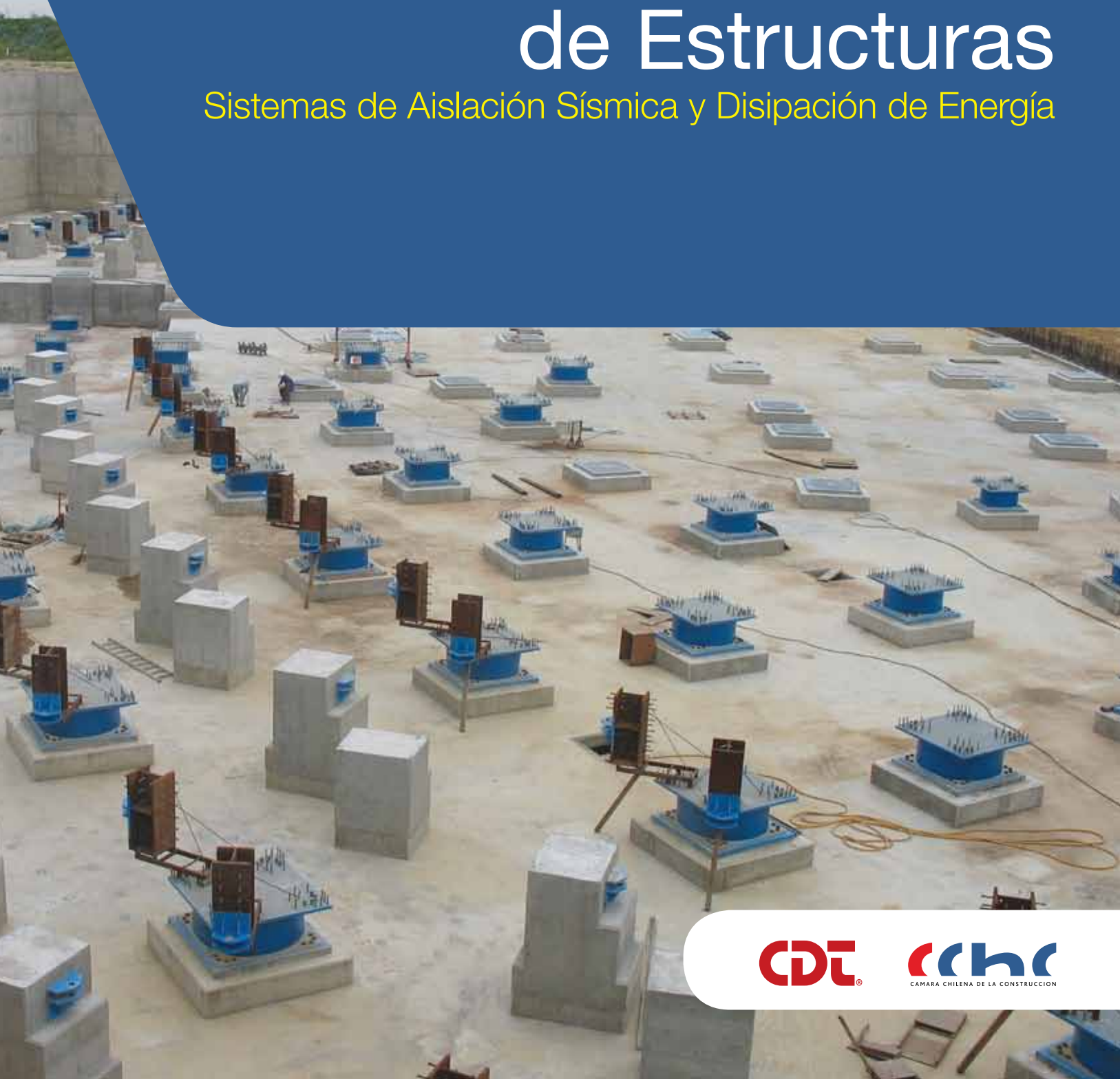


Protección Sísmica de Estructuras

Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía





Protección Sísmica de Estructuras

Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía

DOCUMENTO DESARROLLADO POR:

Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción

COMITÉ DE REDACCIÓN:

Carlos López (Corporación de Desarrollo Tecnológico)
Rodrigo Retamales (Secretario Técnico)
Thomas Kannegiesser (Secretario Técnico)

COMITÉ TÉCNICO:

- Ricardo Abarca (VULCO S.A.)
- Alfredo Bolomey (SPS)
- Rubén Boroschek (RUBEN BOROSCHEK Y ASOCIADOS LTDA.)
- José Tomás Castañeda (SISMICA)
- Leopoldo De Miguel (ARQUITECTO U.MAYOR)
- Carolina García Huidobro (SIRVE)
- José Bernardo Jorquera (CONSTRUCTORA SALINAS)
- Manuel Navarro (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO)
- Ignacio Santa María (EMPRESAS ARMAS)
- Juan Ignacio Searle (DESCO S.A.)
- Sebastián Varas (VMB)

EDICIÓN PERIODÍSTICA:

Área de Comunicaciones CDT
Marcelo Casares, Subgerente de Comunicaciones
Francesca Chiappa, Periodista

DISEÑO: Alejandro Esquivel

IMPRESIÓN: Trama Impresores S.A.

ISBN: 978-956-7911-19-6

Registro de Propiedad Intelectual: 214.077

Consulta Pública: Noviembre 2011

Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT

Marchant Pereira 221 Of.11, Providencia. Santiago de Chile. Fono (56 2) 718 7500 - cdt@cdt.cl - www.cdt.cl

Los contenidos del presente documento consideran el estado actual del arte en la materia al momento de su publicación. CDT no escatima esfuerzos para procurar la calidad de la información presentada en sus documentos técnicos. Sin embargo, advierte que es el usuario quien debe velar porque el personal que va a utilizar la información y recomendaciones entregadas esté adecuadamente calificado en la operación y uso de las técnicas y buenas prácticas descritas en este documento, y que dicho personal sea supervisado por profesionales o técnicos especialmente competentes en estas operaciones o usos. El contenido e información de este documento puede modificarse o actualizarse sin previo aviso. CDT puede efectuar también mejoras y/o cambios en los productos y programas informativos descritos en cualquier momento y sin previo aviso, producto de nuevas técnicas o mayor eficiencia en aplicación de habilidades ya existentes. Sin perjuicio de lo anterior, toda persona que haga uso de este documento, de sus indicaciones, recomendaciones o instrucciones, es personalmente responsable del cumplimiento de todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos necesarias frente a las leyes, ordenanzas e instrucciones que las entidades encargadas imparten para prevenir accidentes o enfermedades. Asimismo, el usuario de este documento será responsable del cumplimiento de toda la normativa técnica obligatoria que esté vigente, por sobre la interpretación que pueda derivar de la lectura de este documento.



La Corporación de Desarrollo Tecnológico agradece la colaboración de las siguientes empresas e instituciones en la publicación de este documento técnico.





CLAUDIO NITSCHÉ M.
Presidente

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Cámara Chilena de la Construcción

EL 27 DE FEBRERO DE 2010, nuestro país vivió uno de los mayores eventos sísmicos en la historia de la humanidad. Aquella madrugada nos vimos sometidos a la mayor de las pruebas posibles para la ingeniería y construcción chilena.

Sin dejar lamentar los daños y pérdidas humanas producidas en este gran terremoto, no podemos dejar de reconocer el excelente desempeño que, en términos generales, demostraron nuestras edificaciones y obras de construcción.

Sin perjuicio de lo anterior, el terremoto de 2010 también dejó en evidencia que nuestra población demanda algo más del sector de la construcción que el solo hecho de evitar el colapso de las estructuras en sismos de intensidad excepcionalmente severa, como lo indica la normativa. Hoy en día, el confort y el resguardo del contenido se hacen una necesidad imperiosa. Es en esta área donde la innovación en el sector construcción tiene la palabra y es así como se han desarrollado nuevas soluciones y tecnologías que permiten avanzar en el logro de estos objetivos. En nuestro país, ya en la década de los '90 se constatan las primeras experiencias de uso de sistemas de protección sísmica para estructuras, y durante los últimos años, los casos en los que se ha incorporado estas tecnologías, ya sea de aislamiento sísmico o de disipación de energía, se han multiplicado en forma considerable.

Pese a lo anterior, aún persisten algunas dudas e inquietudes en relación al uso y beneficio de la aplicación de los siste-

mas de protección sísmica. En este contexto, la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, CDT, se presentó ante INNOVA CHILE de CORFO en 2010 para liderar una iniciativa que permitiera avanzar en difusión, capacitación y sensibilización de los profesionales en la aplicación, uso y beneficios de estas tecnologías. Fruto de este esfuerzo, desarrollado con 11 importantes empresas del sector, surge el documento técnico que a continuación presentamos y que quedará a disposición de nuestros profesionales para aumentar la información y conocimientos sobre esta materia.

Debemos tener presente que vivimos en un país sísmico, quizás el de más actividad telúrica del mundo, y no podemos abstraernos de las posibilidades que nos presentan los sistemas de protección sísmica que son abordados en este documento. Es nuestra responsabilidad prepararnos para enfrentar el futuro y los próximos eventos de forma adecuada y, asimismo, como profesionales de la construcción, tener presente las nuevas demandas del mercado, que indican que los sistemas de protección sísmica tendrán cada día un rol más protagónico dentro de la industria.

Con este documento, el vigesimonoveno publicado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, reafirmamos nuestro compromiso de aportar con información y conocimiento al sector construcción y constituirnos como su referente tecnológico.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	3
1.1. Condición sísmica nacional	6
1.2. Experiencia nacional e internacional	8
1.3. Proyecciones	11
1.4. Alcance	11
2. Conceptos generales	12
2.1. Sistemas de protección sísmica	12
2.1.1. Sistemas activos	12
2.1.2. Sistemas semi-activos	14
2.1.3. Sistemas pasivos	14
3. Sistemas pasivos de disipación de energía	17
3.1. Alternativas de protección	17
3.1.1. Disipadores activados por desplazamientos	17
3.1.2. Disipadores activados por velocidad	22
3.1.3. Disipadores activados por desplazamiento y velocidad	24
3.1.4. Dispositivos activados por movimiento	26
3.2. Aspectos arquitectónicos	27
3.3. Beneficios y limitaciones de uso	28
3.4. Requisitos normativos	28



3.5. Ejemplos y aplicaciones	28
3.6. Consideraciones para la evaluación económica	33
4. Sistemas de aislación sísmica	35
4.1. Alternativas de protección	35
4.1.1. Aisladores elastoméricos	35
4.1.2. Aisladores deslizantes	37
4.2. Aspectos arquitectónicos	41
4.3. Beneficios y limitaciones de uso	42
4.4. Requisitos normativos	43
4.5. Ejemplos y aplicaciones	43
4.6. Consideraciones para la evaluación económica	48
5. Preguntas frecuentes	31





1. Introducción

Los recientes terremotos ocurridos en Chile, Japón, Turquía y Nueva Zelandia han dejado de manifiesto la alta vulnerabilidad sísmica de las estructuras y de sus contenidos. En el caso de Chile, no son pocos los casos de estructuras que, sin presentar problemas estructurales de consideración, sufrieron daños no estructurales que causaron pérdidas parciales o totales de operación. Del mismo modo, la masificación de la construcción en altura en el país en los últimos 20 años, sumado a la magnitud del terremoto de febrero de 2010, generaron en muchos propietarios pánico durante el evento e insatisfacción respecto a los daños producidos. Si bien es preciso reconocer el excelente desempeño estructural de las edificaciones, no se puede concluir lo mismo en materia de protección de función, preservación de contenidos y percepción de la población. Por estas razones, resulta necesario promover en Chile el uso de tecnologías, probadas a nivel nacional e internacional y reconocidas por la comunidad profesional, orientadas a mejorar la respuesta sísmica de las estructuras, más allá de los requisitos mínimos de la normativa nacional vigente.

Durante su vida útil, las estructuras son sometidas a diversas solicitudes de servicio, como las provenientes de las cargas propias del uso del edificio y de fenómenos naturales. Entre estos últimos, las mayores demandas o solicitudes sobre una estructura son causadas, generalmente, por eventos sísmicos. Durante un sismo, la energía liberada en la fuente se propaga a través del suelo en forma de ondas. Esta energía, que es transmitida luego a las estructuras y sus contenidos, y que se manifiesta fundamentalmente como movimiento, aceleración y deformación de los componentes y sistemas estructurales y no estructurales, se disipa a través de daño de dichos componentes. En el caso de edificios, la disipación de energía se produce típicamente en la interac-

ción entre el suelo y las fundaciones, en el daño de elementos estructurales tales como muros, vigas, losas, columnas, encuentros viga-columna, conexiones, y en la interacción entre el sistema estructural y sistemas no estructurales, principalmente tabiques.

En conformidad con la normativa nacional vigente, NCh433.Of96.Mod2009 y Decreto Supremo DS61 de 2011, las estructuras convencionales son diseñadas para que: i) resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada; ii) limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad; y iii) aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa¹, salvaguardando la vida de sus ocupantes. Esta filosofía de diseño no está orientada a que no se produzcan daños en las estructuras y sus contenidos, los que, en casos extremos, pueden incluso limitar o imposibilitar el uso de una estructura con posterioridad a un sismo severo. En el caso de estructuras críticas, esenciales, estratégicas, y/o con contenidos de gran valor, tales como hospitales, colegios, edificios públicos e industriales, museos, datacenters, puertos, puentes y aeropuertos, entre otros, el objetivo de desempeño de la norma de prevenir el colapso estructural no es suficiente, ya que se requiere proteger los contenidos y/o que la estructura continúe operando durante o inmediatamente después de ocurrido un sismo severo. En algunos casos, puede ser un requerimiento del propietario o inversionista alcanzar objetivos de desempeño superiores al de la normativa, tales como protección de la inversión y/o protección de la operación. Estos objetivos superiores pueden alcanzarse implementando sistemas de protección

1. La clasificación de sismos de intensidad moderada, media y severa corresponde a la utilizada en la norma NCh 433.

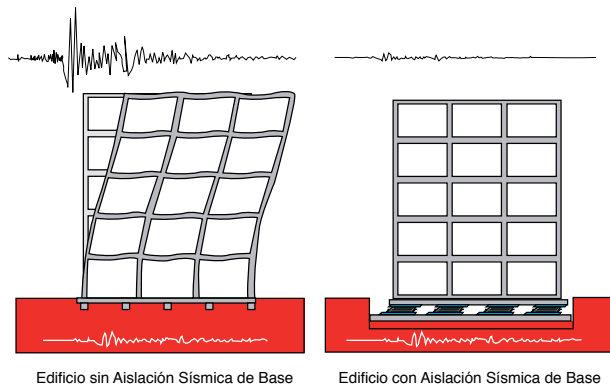


Figura 1. Comparación de respuesta sísmica de edificio sin aislación y edificio con aislamiento basal.

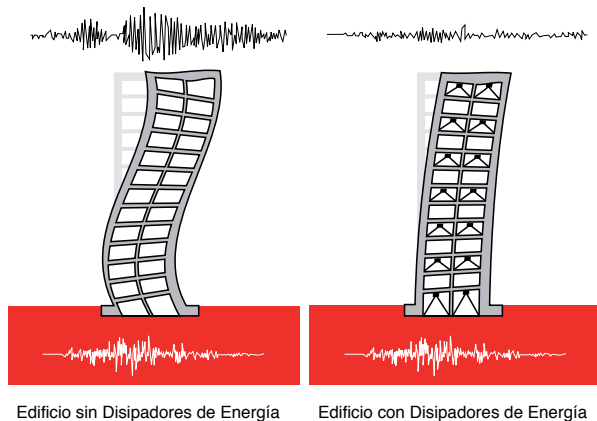


Figura 2. Comparación de edificio sin disipadores y edificio con disipadores de energía.

sísmica en las estructuras, tales como aislación sísmica y disipación de energía. Si bien los sistemas de protección sísmica no son esenciales para que las estructuras resistan movimientos sísmicos, proveen una mejora considerable al comportamiento dinámico de las estructuras.

El diseño sismorresistente convencional se fundamenta en la capacidad de las estructuras para disipar la energía que le entrega el sismo por medio de deformaciones inelásticas, las que como se ha mencionado anteriormente, implican un daño controlado de la estructura. Para alcanzar niveles de deformación compatibles con las demandas sísmicas, las estructuras deben cumplir con los requisitos de detallamiento sísmico indicados en las normativas correspondientes a cada material.

En las últimas dos décadas ha ganado aceptación entre la comunidad profesional el uso de sistemas de protección sísmica en estructuras. Entre ellos, los sistemas de aislación sísmica y de disipación de energía han sido los más utilizados. En términos generales, los sistemas de aislación sísmica limitan la energía que el sismo transfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada, previniendo el daño estructural y no estructural. La Figura 1 muestra una comparación del comportamiento, ante la acción de un sismo, de un edificio sin aislación y un edificio con aislación sísmica. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, si bien no evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados para esos fines, reduciendo sustancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura. El uso de disipadores de energía reduce la respuesta estructural, disminuyendo el daño de componentes estructurales y no estructurales. La Figura 2 muestra la comparación del comportamiento de un edificio sin dispositivos de disipación de energía y un edificio con disipadores de energía.

1.1. Condición sísmica nacional

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo. El 46,5% de toda la energía sísmica mundial del siglo XX, se liberó en Chile, según el sismólogo experto Sergio Barrientos. De los 15 terremotos más destructivos registrados a nivel mundial desde 1900, 3 han ocurrido en Chile (Tabla 1).

La condición sísmica de Chile se debe a que se ubica en



TABLA 1. RANKING DE TERREMOTOS MÁS DESTRUCTIVOS A NIVEL MUNDIAL DESDE 1900

	UBICACIÓN	FECHA	MAGNITUD (RICHTER)	LATITUD	LONGITUD
1	Valdivia, Chile	1960/05/22	9.5	-38.29	-73.05
2	Prince William Sound, Alaska	1964/03/28	9.2	61.02	-147.65
3	Costa Oeste de Sumatra Norte	2004/12/26	9.1	3.30	95.78
4	Costa Este de Honshu, Japón	2011/03/11	9.0	38.322	142.369
5	Kamchatka, Rusia	1952/11/04	9.0	52.76	160.06
6	Maule, Chile	2010/02/27	8.8	-35.846	-72.719
7	Costa de Ecuador	1906/01/31	8.8	1.0	-81.5
8	Islas Rata, Alaska	1965/02/04	8.7	51.21	178.50
9	Sumatra Norte, Indonesia	2005/03/28	8.6	2.08	97.01
10	Assam, Tibet	1950/08/15	8.6	28.5	96.5
11	Islas Andreanof, Alaska	1957/03/09	8.6	51.56	-175.39
12	Sumatra Sur, Indonesia	2007/09/12	8.5	-4.438	101.367
13	Mar de Banda, Indonesia	1938/02/01	8.5	-5.05	131.62
14	Kamchatka, Rusia	1923/02/03	8.5	54.0	161.0
15	Frontera Chile-Argentina	1922/11/11	8.5	-28.55	-70.50
16	Islas Kuril	1963/10/13	8.5	44.9	149.6

Fuente: USGS.

la llamada zona del Cinturón de Fuego del Pacífico, específicamente contiguo al encuentro entre la Placa de Nazca, subplaca del Pacífico y la Placa Sudamericana. La Placa de Nazca se mueve bajo la Placa Sudamericana a una tasa cercana a los 10 centímetros por año, generando una zona de subducción paralela a las costas chilenas. En el extremo sur del país, existe otra zona de subducción en la cual la Placa Antártica se mueve bajo la Placa Sudamericana. Este movimiento es más lento que el de la placa de Nazca y, por lo tanto, esta zona tiene una menor actividad sísmica. Al peligro sísmico nacional también contribuyen los sismos de tipo intraplaca y corticales.

Las pérdidas humanas del terremoto del Maule de febrero del 2010 alcanzaron las 524² personas. Es importante destacar que este terremoto produjo un tsunami que afectó a varias regiones del país y que gran parte de las víctimas y daños fueron causados por este evento. Las pérdidas de vidas humanas producidas al interior de estructuras que habían

2. Fuente: "Balance de Reconstrucción, a un año del 27/F", Ministerio del Interior (www.interior.gov.cl).

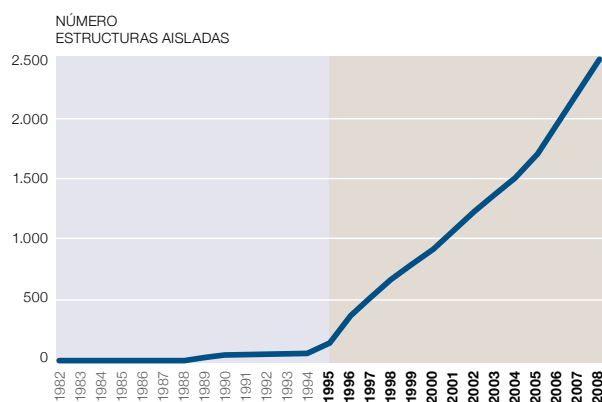


Figura 3. Masificación de edificios sísmicamente aislados en Japón, luego del terremoto de Kobe de 1995.

sido diseñadas por un profesional competente fueron considerablemente menores. Se estima que menos del 2,5%² de los edificios diseñados sísmicamente sufrió daño severo, de ellos un porcentaje mínimo causó muertes.

La ocurrencia de terremotos ha traído consigo elevados costos económicos para el país. Para ejemplificar estas pérdidas, se tomará como referencia el terremoto del Maule de febrero de 2010. Según reportes del Ministerio del Interior, el costo de esta catástrofe fue de \$30.000 millones de dólares, equivalente al 18% del producto interno bruto del año 2010. De estas pérdidas, \$21.000 millones de dólares corresponden a pérdidas en infraestructura, mientras que \$9.000 millones de dólares corresponden a bienes y servicios que se dejaron de producir a causa de los daños causados por el terremoto. De los \$21.000 millones de dólares que se estima costará la reconstrucción de la infraestructura, 27% corresponden a viviendas, 25% a salud, 14% a educación y 14% a obras públicas³. En comparación, el terremoto de San Antonio de 1985 dejó pérdidas evaluadas en \$2.106 millones de dólares, y un total de 177 muertos⁴.

1.2. Experiencia nacional e internacional

Procedimientos para el análisis y diseño de edificios y puentes para cargas sísmicas existen en el mundo desde la década de 1920. Una detallada historia y resumen de los procedimientos usados para el diseño sísmico de edificios se puede encontrar en el documento ATC-34 (ATC, 1995). Para edificios, los efectos sísmicos fueron incorporados por primera vez en el Uniform Building Code (UBC) de 1927 en Estados Unidos. Sin embargo, el código no incorporaba requerimientos de diseño. Los requerimientos de diseño se incorporaron en el código de 1930.

En general, el desarrollo de normativa a nivel mundial ha estado siempre relacionado con la ocurrencia de terremotos de gran magnitud. Chile no ha sido la excepción. Luego del terremoto de Talca de 1928 se publicó el primer reglamento de diseño sísmico que comenzó a regir en 1935 a través de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización.

3. Fuente: MAE Center Report 10-04. The Maule (Chile) Earthquake of February 27, 2010.

4. Fuente: Plan de Reconstrucción, Programa de Gobierno y Financiamiento 2010-2013, Ministerio de Hacienda.

5. Fuente: "Sismos del siglo XX y XXI", Ministerio del Interior.



El primer documento para el diseño de estructuras con aislación sísmica de base fue publicado en 1986 por el SEAOC (Structural Engineering Association of California). Estados Unidos y Japón son los principales precursores del uso de estas tecnologías de protección. Los sistemas de protección sísmica presentaron su mayor auge luego de los terremotos de Northridge (EEUU) en 1994 y Kobe (Japón) en 1995. La Figura 3 muestra el aumento del uso de sistemas de aislación sísmica en Japón después del terremoto de Kobe de 1995. En ambos terremotos se observó que las construcciones que poseían sistemas de aislación sísmica se comportaron de excelente forma, lo que estimuló la masificación de este tipo de tecnología.

La experiencia internacional muestra que el uso de tecnologías de protección sísmica no solo aplica para estructuras nuevas, sino que también es utilizada como estrategia de refuerzo o rehabilitación (retrofit) de estructuras ya existentes. Algunos ejemplos emblemáticos de estas aplicaciones son el Capitolio de Utah (EEUU), el Municipio de San Francisco (EEUU), y el puente Golden Gate en San Francisco (EEUU).

En la actualidad Japón cuenta con más de 2500 construcciones con sistemas de aislación sísmica mientras que Estados Unidos con alrededor de 200.

En Chile, el primer edificio con aislación sísmica de base fue construido en el año 1991. Este edificio de viviendas sociales, de cuatro pisos, corresponde al conjunto habitacional de la Comunidad Andalucía, ubicado en la comuna de Santiago. Posteriormente, una veintena de estructuras con sistemas de protección sísmica han sido construidos, entre los que destacan el viaducto Marga-Marga, el Muelle Coronel, el puente Amolanas, el Nuevo Hospital Militar La Reina, el edificio Parque Araucano, la Clínica UC San Carlos de Apoquindo, la Torre Titanium, y los edificios de la Asociación Chilena de Seguridad en Santiago y Viña del Mar, entre otras.

1.3. Proyecciones

Se espera que luego de los terremotos de Chile en febrero del 2010 y del ocurrido en marzo 2011 en Japón se genere un nuevo auge, al igual que lo ocurrido en la década de 1990 con los terremotos de Northridge y Kobe, que impulse la masificación de la aplicación de sistemas de protección sísmica en estructuras. En particular, debido a la cantidad de edificaciones que, contando con sistemas de protección sísmica en Japón, registraron un excelente

desempeño sísmico.

A la par con este auge en el uso de sistemas de protección sísmica, al momento de redacción de este documento, se encuentra en revisión la normativa chilena NCh2745.Of2003 para el análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, y en etapa final de desarrollo la normativa para el análisis y diseño sísmico de edificios con disipadores de energía. Ambos documentos están basados en las exigencias del código ASCE 7-10 (ASCE/SEI, 2010) de los EEUU.

1.4. Alcance

Este documento es una guía técnica informativa orientada a ingenieros, diseñadores, arquitectos, inversionistas y tomadores de decisión del área de la construcción, que establece los conceptos, aplicaciones y beneficios de los sistemas de protección sísmica. El documento establece principalmente consideraciones para edificaciones habitacionales, comerciales e industriales, y para obras civiles. Sin embargo, existen alternativas de protección sísmica de equipos e instalaciones, las que no serán abordadas en detalle en el presente documento.

Este documento no se presenta en desmedro de edificaciones que no consideran sistemas de protección sísmica tales como aisladores y disipadores, las que han demostrado, en términos generales, un adecuado comportamiento durante eventos sísmicos severos.

La norma chilena considera que las edificaciones pueden presentar daños en caso de sismos severos, en tanto se consiga prevenir el colapso de las edificaciones y salvaguardar la vida de sus ocupantes. En este mismo sentido, y dado que Chile es un país de alta sismicidad, daños de origen sísmico se seguirán produciendo, incluso en estructuras que incorporen dispositivos de protección sísmica.

2. Conceptos generales

Este capítulo presenta conceptos generales relacionados a los sistemas de protección sísmica de estructuras. También se describen algunas de las aplicaciones típicas de las distintas alternativas de protección sísmica de estructuras, las que serán tratadas con mayor detalle en los Capítulos 3 y 4 de este documento.

2.1. Sistemas de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica de estructuras utilizados en la actualidad incluyen diseños relativamente simples hasta avanzados sistemas totalmente automatizados. Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en tres categorías: Sistemas activos, sistemas semi-activos y sistemas pasivos. El presente documento se concentra fundamentalmente en los sistemas pasivos de protección sísmica.

2.1.1. SISTEMAS ACTIVOS

Los sistemas activos de protección sísmica son sistemas complejos que incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos. La Figura 4 muestra el diagrama de flujo del mecanismo de operación de los sistemas de protección sísmica activos.

Estos sistemas monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los

efectos sísmicos. El actuar de los sistemas activos se resume de la siguiente forma: las excitaciones externas y la respuesta de la estructura son medidas mediante sensores, principalmente acelerómetros, instalados en puntos estratégicos de la estructura. Un algoritmo de control procesa, también en tiempo real, la información obtenida por los instrumentos, y determina las fuerzas necesarias que deben aplicar los actuadores para estabilizar la estructura. Las fuerzas que estos sistemas utilizan son, generalmente, aplicadas por actuadores que actúan sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos. Una de las principales desventajas de los sistemas activos de protección sísmica, además de su costo, es que necesitan de una fuente de alimentación externa continua para su funcionamiento durante un sismo. No obstante, constituyen la mejor alternativa de protección sísmica de estructuras, ya que permiten ir modificando la respuesta de los dispositivos en tiempo real, lo que implica un mejor comportamiento de la estructura durante el sismo.

Los sistemas de protección sísmica activos han sido desarrollados en Estados Unidos y en Japón. Estos sistemas han sido aplicados principalmente en Japón, donde las restricciones de espacio de las grandes urbes, han detonado la construcción de estructuras de gran esbeltez. La Figura 5 muestra esquemáticamente una estructura protegida con sistemas activos.

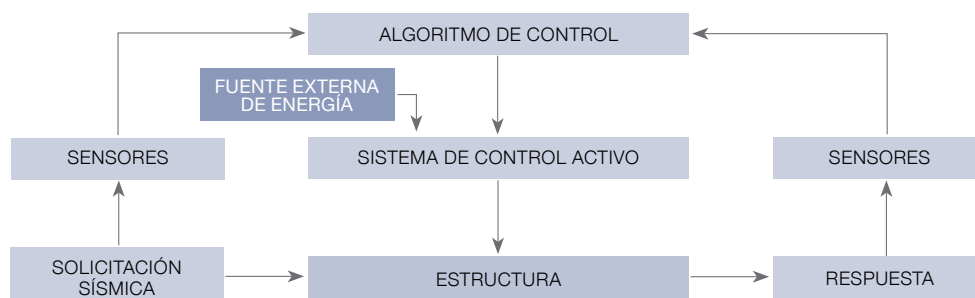


Figura 4. Esquema mecanismo de operación de sistemas activos.

2.1.2. SISTEMAS SEMI-ACTIVOS

Los sistemas semi-activos de protección sísmica, al igual que los activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural. Sin embargo, a diferencia de los sistemas activos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semi-activos, los dispositivos de fricción con fricción controlable, y los disipadores con fluidos electro- o magneto-reológicos. La Figura 6 muestra esquemáticamente una estructura protegida con sistema semi-activo.

2.1.3. SISTEMAS PASIVOS

Los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica más comúnmente utilizados en la actualidad. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía. Los sistemas pasivos permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor. Dado que estos sistemas son más comúnmente utilizados, en comparación a los sistemas activos y semi-activos, es que serán tratados con mayor detalle en los próximos capítulos. La Figura 7 muestra el diagrama de flujo del mecanismo de operación de los sistemas de protección sísmica pasivos.

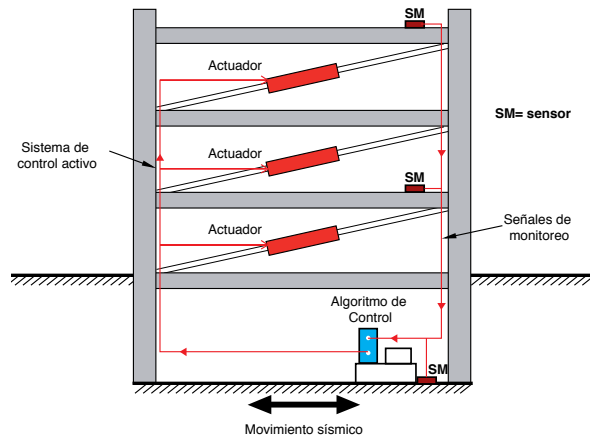


Figura 5. Esquema de estructura con sistema de control activo.

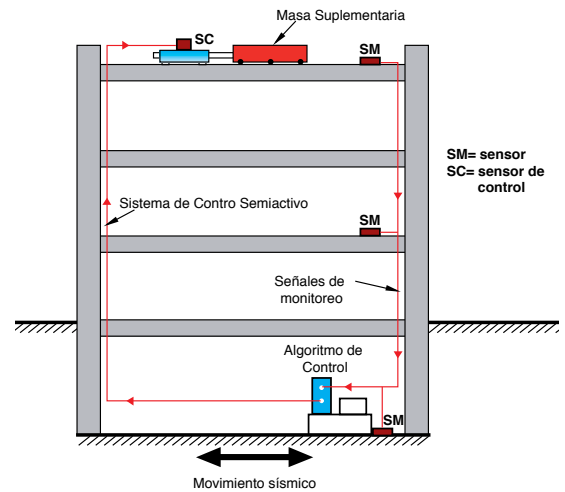


Figura 6. Esquema de estructura con sistema de control semi-activo.

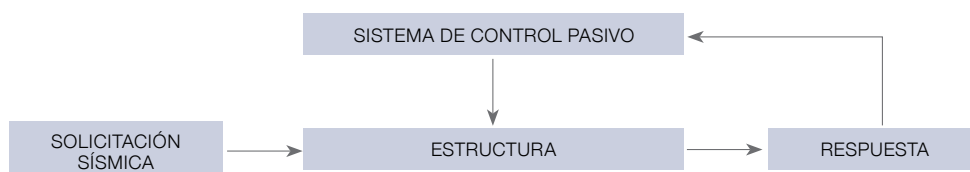


Figura 7. Esquema mecanismo de operación de sistemas pasivos.

2.1.3.1. Disipación de energía

Los disipadores de energía, a diferencia de los aisladores sísmicos, no evitan que las fuerzas y movimientos sísmicos se transfieran desde el suelo a la estructura. Estos dispositivos son diseñados para disipar la energía entregada por sismos, fenómenos de viento fuerte u otras sollicitaciones de origen dinámico, protegiendo y reduciendo los daños en elementos estructurales y no estructurales. Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Un caso particular de dispositivo de disipación de energía, que ha comenzado recientemente a ser utilizado en Chile para la protección sísmica de estructuras, corresponde a los amortiguadores de masa sintonizada. Estos dispositivos, ubicados en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural. Al igual que los sistemas de aislación sísmica de base, los dispositivos de disipación de energía, han sido ampliamente utilizados a nivel mundial en el diseño de estructuras nuevas y en el refuerzo de estructuras existentes.

Las ventajas y desventajas de los distintos tipos de dispositivos de disipación de energía se discuten con mayor detalle en el Capítulo 3 de este documento.

2.1.3.2. Aislación sísmica

El diseño de estructuras con aislación sísmica se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componentes del edificio ubicados por sobre la interfaz de aislación) de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación o a nivel del cielo del subterráneo (subestructura). Sin embargo, existen casos donde se han colocado aisladores en pisos superiores. La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislación.

El aislamiento sísmico es utilizado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. A diferencia de las técnicas convencionales de reforzamiento de estructuras, el aislamiento sísmico busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente. Debido a esto último, la aislación sísmica de base es especialmente útil para la protección y refuerzo de edificios históricos y patrimoniales. Detalles de los distintos tipos de aislación sísmica de base se presentan en el Capítulo 4 de este documento.

3. Sistemas pasivos de disipación de energía

3.1. Alternativas de protección

Los sistemas pasivos de disipación de energía pueden ser clasificados en cuatro categorías, según sean estos activados por desplazamientos, velocidades, por una combinación de desplazamientos y velocidades, o por movimiento (fuerzas inerciales). A continuación se detalla brevemente las características generales de cada una de estas categorías de disipadores de energía.

3.1.1. DISIPADORES ACTIVADOS POR DESPLAZAMIENTOS

Los disipadores de esta categoría se activan por medio de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un terremoto. Estos dispositivos disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies especialmente diseñadas para estos fines. Bajo esta clasificación se encuentran los dispositivos metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrantes. La Figura 8 muestra ciclos fuerza-deformación típicos de disipadores activados por desplazamientos. El área encerrada por la curva corresponde a la energía disipada por el dispositivo.

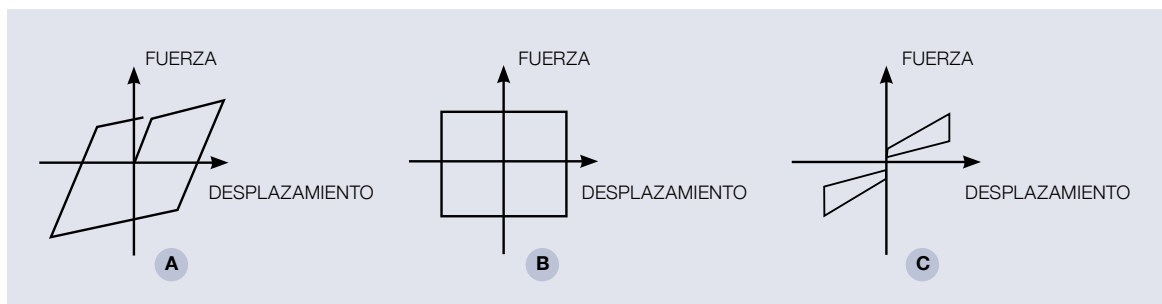


Figura 8. Ciclo carga-deformación disipador activado por desplazamiento: a) Metálico, b) Friccional y c) Autocentrante.

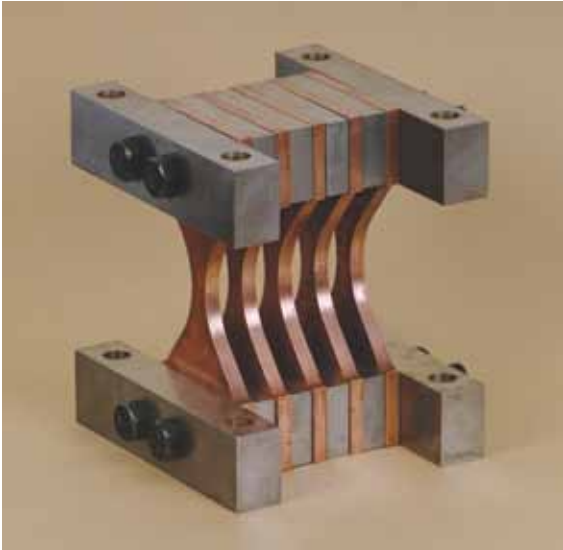


Figura 9. Disipador metálico tipo ADAS.

3.1.1.1. disipadores metálicos

Estos dispositivos disipan energía por medio de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos. Los disipadores metálicos presentan, en general, un comportamiento predecible, estable, y confiable a largo plazo. En general, estos dispositivos poseen buena resistencia ante factores ambientales y temperatura. La Figura 9 muestra, a modo de ejemplo, un disipador metálico tipo ADAS, acrónimo del concepto Added Damping/Added Stiffness. Este tipo de dispositivo permite añadir, simultáneamente, rigidez y amortiguamiento a la estructura. Los disipadores metálicos tipo ADAS pueden ser fabricados con materiales de uso frecuente en construcción. La geometría de estos dispositivos está especialmente definida para permitir la disipación de energía mediante la deformación plástica uniforme de las placas de acero.

En la sección 3.5 se presenta un esquema de la configuración típica de estos dispositivos en estructuras.

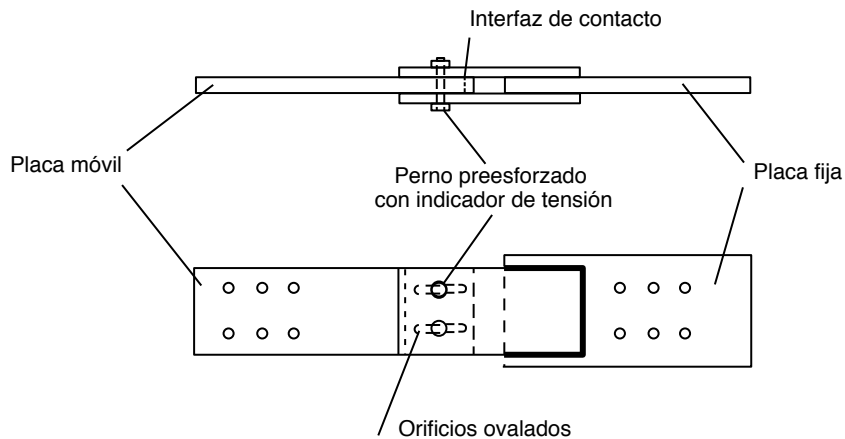


Figura 10. Conexión tipo SBC (Slotted Bolted Connection).

3.1.1.2. Disipadores friccionales

Estos dispositivos disipan energía por medio de la fricción que se produce durante el desplazamiento relativo entre dos o más superficies en contacto. Estos dispositivos son diseñados para activarse una vez que se alcanza un determinado nivel de carga en el dispositivo. Mientras la sollicitación no alcance dicha carga, el mecanismo de disipación se mantiene inactivo. La Figura 10 muestra un esquema de un disipador friccional. Estos dispositivos pueden ser materializados de varias maneras, incluyendo conexiones deslizantes con orificios ovalados o SBC (Slotted Bolted Connection), como el que se muestra en la figura, dispositivos con superficies en contacto sometidas a cargas de precompresión, etc. La Figura 11 muestra un esquema del disipador friccional tipo Pall.

Una desventaja importante de este tipo de dispositivo radica en la incertidumbre de la activación de los dispositivos durante un sismo y en el aumento de la probabilidad de observar deformaciones residuales en la estructura.

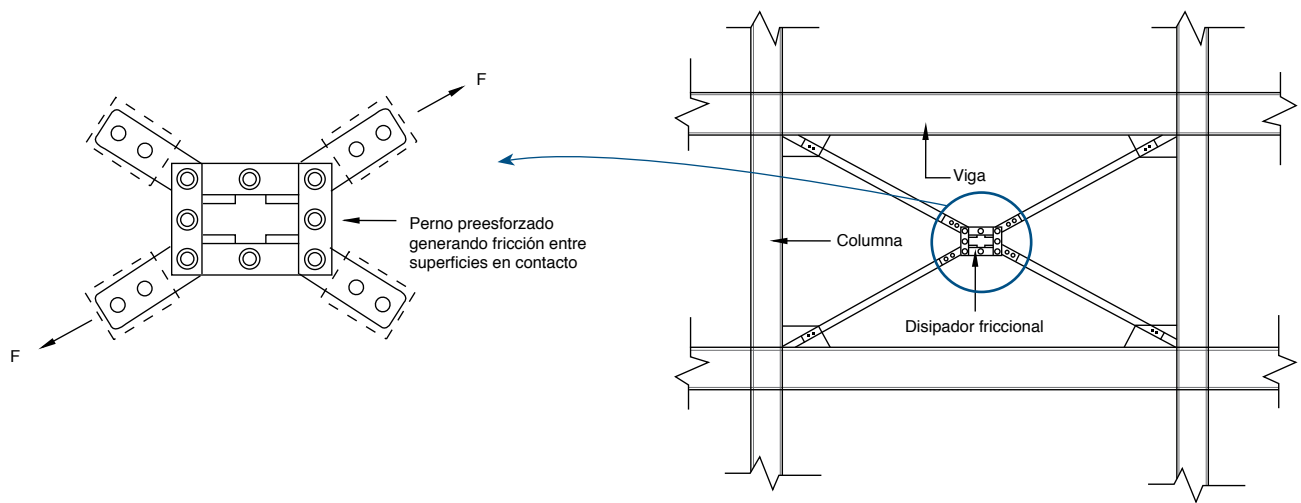


Figura 11. Esquema disipador de energía tipo Pall.



Figura 12. Biela autocentrante.

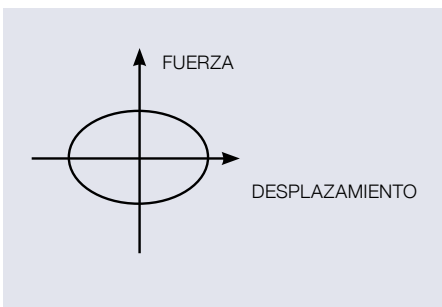


Figura 13. Ciclo fuerza-deformación disipador activado por velocidad.

3.1.1.3. Disipadores de extrusión de materiales

Estos dispositivos basan su comportamiento en la extrusión de materiales (típicamente plomo) a través de perforaciones. En esta categoría se encuentran las diagonales de pandeo restringido o BRB's (por sus siglas en inglés para Buckling Restrained Braces). Estos elementos permiten añadir, simultáneamente, rigidez y amortiguamiento a las estructuras. Los disipadores de extrusión son durables en el tiempo, sin verse afectados mayormente por el número de ciclos de carga o efectos climáticos.

La desventaja de estos dispositivos se encuentra en que pueden aumentar la probabilidad de observar deformaciones residuales al término del sismo.

3.1.1.4. Disipadores autocentrantes

Estos dispositivos basan su comportamiento en los ciclos histeréticos que se producen en conexiones o elementos pretensionados. Algunos disipadores autocentrantes pueden ser fabricados utilizando materiales con memoria de forma o SMA (por sus siglas en inglés para Shape Memory Alloys). Estos dispositivos utilizan las propiedades de los elementos que los componen, por ejemplo acero, y de la geometría de su configuración para disipar energía y, una vez finalizada la carga, regresar a su posición inicial. De esta forma, los disipadores autocentrantes permiten controlar gran parte de los desplazamientos residuales de la estructura luego de un terremoto. La Figura 12 muestra una biela con sistema autocentrante.

3.1.2. DISIPADORES ACTIVADOS POR VELOCIDAD

Los disipadores de esta categoría se activan a partir de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un sismo. Estos sistemas, típicamente añaden amortiguamiento a las estructuras, sin afectar su rigidez lateral. La Figura 13 muestra un esquema tipo de un ciclo fuerza-deformación de un disipador activado por velocidad.

Estos disipadores, en general, permiten brindar protección a las estructuras durante sismos de baja, mediana y gran intensidad.

3.1.2.1. Dispositivos fluido-viscosos

Este tipo de dispositivo disipa energía forzando un fluido altamente viscoso a pasar a través de orificios con diámetros, longitudes e inclinación especialmente determinados para controlar el paso del fluido. Estos dispositivos son similares a los amortiguadores de un automóvil, pero con capacidades para resistir las fuerzas inducidas por terremotos. La Figura 14 muestra el aspecto de disipadores del tipo fluido-viscoso.



Figura 14. Disipador fluido-viscoso.

3.1.2.2. Muros viscosos

Los muros viscosos están compuestos por una placa que se mueve en un fluido altamente viscoso depositado al interior de un molde de acero (muro). El comportamiento de estos dispositivos depende principalmente de la frecuencia y amplitud de la carga, número de ciclos, y temperatura de trabajo. La Figura 15 muestra esquemáticamente un disipador tipo muro viscoso.

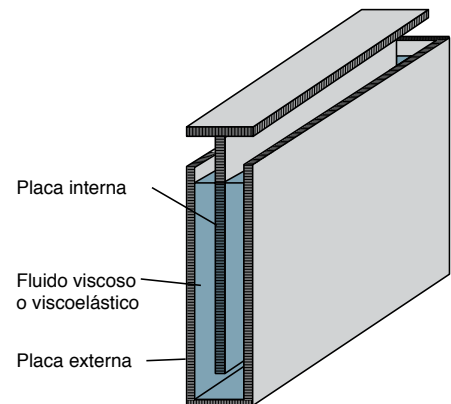


Figura 15. Disipador muro viscoso.

3.1.3. DISIPADORES ACTIVADOS POR DESPLAZAMIENTO Y VELOCIDAD

Los disipadores de esta categoría se activan a partir de la acción combinada de los desplazamientos y velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura producidos durante un terremoto. Estos sistemas, típicamente añaden, simultáneamente, amortiguamiento y rigidez a las estructuras. La Figura 16 muestra un esquema típico del ciclo fuerza-deformación para este tipo de dispositivos.

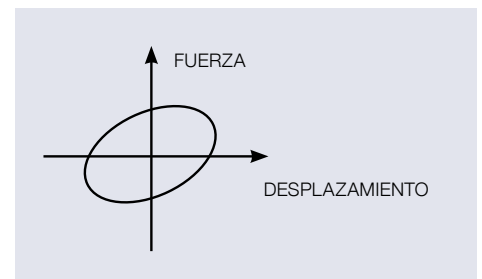


Figura 16. Ciclo fuerza-deformación disipador activado por desplazamiento y velocidad.

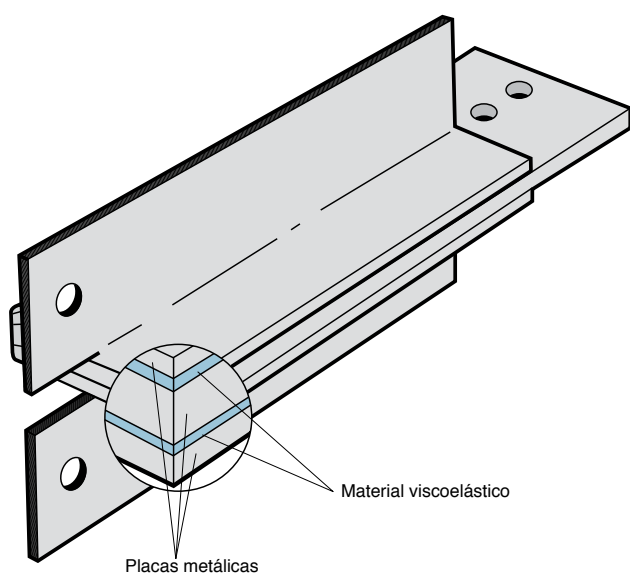


Figura 17. Disipador sólido viscoelástico.

3.1.3.1. Dispositivos viscoelásticos sólidos

Estos dispositivos están formados por material viscoelástico ubicado entre placas de acero. Disipan energía a través de la deformación del material viscoelástico producida por el desplazamiento relativo de las placas. Estos dispositivos se ubican generalmente acoplados en arriostres que conectan distintos pisos de la estructura. El comportamiento de los amortiguadores viscoelásticos sólidos puede variar según la frecuencia y amplitud del movimiento, del número de ciclos de carga, y de la temperatura de trabajo. La Figura 17 muestra esquemáticamente un disipador sólido viscoelástico.

3.1.4. DISPOSITIVOS ACTIVADOS POR MOVIMIENTO

Esta categoría de sistemas de protección sísmica incluye los osciladores resonantes o Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS). Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Un AMS es un sistema constituido por una masa, elementos restitutivos, y mecanismos de disipación de energía. Este tipo de dispositivo utiliza el acoplamiento entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del oscilador resonante para reducir la respuesta dinámica de la estructura. Los osciladores resonantes son generalmente utilizados en edificios de gran altura para reducir las vibraciones inducidas por el viento, sin embargo, también existen aplicaciones para mejorar el comportamiento de estructuras ante eventos sísmicos. Las Figuras 18 y 19 muestran un amortiguador de masa sintonizada. La gran ventaja de este tipo de dispositivo es que se pueden instalar a nivel de techo de las estructuras, minimizando el impacto en la arquitectura. No obstante, la respuesta de este tipo de dispositivos depende del grado de sintonización con la estructura durante el sismo. El diseño del AMS debe incorporar un mecanismo de ajuste de las propiedades dinámicas del AMS.

3.2. Aspectos arquitectónicos

Los aspectos arquitectónicos dependen del tipo de disipador de energía que se instale en la estructura. En general, los dispositivos de disipación se distribuyen en toda la altura de las estructuras, para tomar ventaja de las deformaciones y velocidades de entrepiso a que se ven sometidas las

estructuras durante eventos sísmicos. En estructuras donde las deformaciones y velocidades de entrepiso son bajas, es común utilizar dispositivos que abarcan dos, tres e incluso más pisos. Del mismo modo, los dispositivos suelen colocarse en puntos alejados de los centros de gravedad de las plantas del edificio, típicamente fachadas, a fin de mitigar efectos de torsión en las estructuras.

Los disipadores de energía se encuentran disponibles en gran variedad de tamaños. Los disipadores viscosos, viscoelásticos, o friccionales pueden estar ocultos dentro de muros o tabiques. Los amortiguadores de masa sintonizada por su parte, que típicamente se colocan a nivel de techo de las estructuras, requieren de recintos de mayor tamaño especialmente habilitados para ellos, dimensionados considerando los desplazamientos máximos de los dispositivos en caso de sismo severo.

Los disipadores de energía, independientemente de su tipología, deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados con posterioridad a sismos severos, y donde se les pueda dar mantención en los casos en que se requiera.

En todas las estructuras donde se utilizan dispositivos de disipación de energía, se recomienda considerar su uso desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto en arquitectura de su incorporación.

3.3. Beneficios y limitaciones de uso

Beneficios: Los dispositivos de disipación de energía aumentan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, reduciendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos. Los esfuerzos, aceleraciones y deformaciones inducidos por un sismo en una estructura con sistemas de disipación de energía, pueden ser entre un 15 a 40% menor que los correspondientes a una estructura sin disipadores, logrando reducir el daño producido a elementos estructurales y no estructurales.

Limitaciones de uso: Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente luego de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, que si bien reducen las demandas en la estructura, pueden incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras.



Figura 18. Amortiguador de masa sintonizada.



Figura 19. Amortiguador de masa sintonizada.

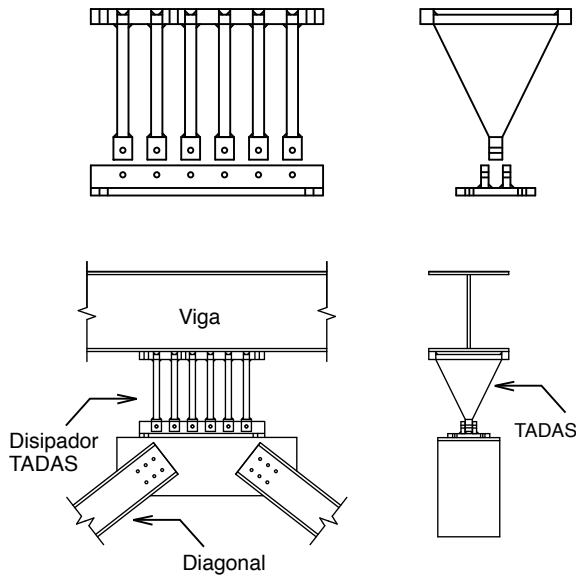


Figura 20. Esquema de aplicación disipador metálico tipo TADAS. Estos disipadores cumplen los mismos principios que los disipadores tipo ADAS.

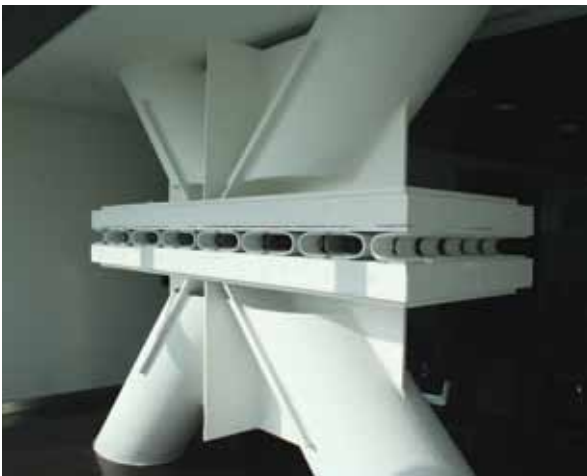


Figura 21. Aplicación disipador metálico en base a flexión. TORRE TITANIUM (CHILE)

3.4. Requisitos normativos

La normativa chilena para el diseño sísmico de estructuras con sistemas pasivos de disipación de energía se encuentra en desarrollo al momento de readacción de este documento. Esta norma se basa en los requisitos del capítulo 18 del ASCE 7.

3.5. Ejemplos y aplicaciones

En las figuras 20 a 25 se presentan una serie de ejemplos y aplicaciones de dispositivos de disipación de energía en estructuras.

3.6. Consideraciones para la evaluación económica

Al evaluar económicamente la instalación de disipadores de energía se deben considerar los siguientes aspectos:

COSTOS:

- Costo de los dispositivos.
 - Costos de proyecto.
 - Costo de instalación. Costos directos y gastos generales.
 - Costo de ensayos y certificación.
 - Costos de los refuerzos locales de la estructura requeridos para la instalación de disipadores. En algunos casos el costo de los dispositivos puede ser menor al de los elementos de sujeción del dispositivo a la estructura.
 - Costos generales por aumento de plazos.
- Costos de mantención y/o reposición.
- Costo de posibles recintos que dejan de utilizarse para instalar los disipadores.

BENEFICIOS:

- Beneficio de reducción de daños durante sismos severos.
- Disminución de los costos de reparación de daños, luego de eventos sísmicos, dado que se reducen:
 - Daños estructurales.
 - Daños de componentes y sistemas no estructurales.
- Menores daños de contenidos de recintos.
- Beneficio para el mandante en reputación de marca. Ayuda a vender mejor los atributos del producto.
- Percepción de mayor seguridad del usuario.
- Posibilidad de reducción de costos de estructura, condicionado a la normativa de diseño sísmico vigente.



Figura 22. Aplicación disipador metálico en apoyo de puente.



Figura 23. Aplicación amortiguador viscoso en apoyo de puente.



Figura 24. Aplicación amortiguador viscoso.
PUENTE AMOLANAS (CHILE)



Figura 25. Aplicación amortiguador AMS.¹
EDIFICIO PARQUE ARAUCANO (CHILE)

1. El diseño del sistema de protección sísmica del Edificio Parque Araucano, consistente en dos AMS (amortiguadores de masa sintonizada), fue producto de un proyecto colaborativo entre las empresas VMB y SIRVE, desarrollado en el año 2005. Además, VMB tuvo a su cargo el diseño estructural del edificio y SIRVE actuó como revisor del mismo.

4. Sistemas de aislación sísmica

4.1. Alternativas de protección

La aislación sísmica de base es el procedimiento más eficiente para la protección sísmica de estructuras relativamente bajas o rígidas. Los aisladores sísmicos más desarrollados y utilizados en la actualidad son los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (con o sin núcleo de plomo) y los deslizantes o friccionales. A continuación se detallan brevemente las características generales de los distintos sistemas de aislación sísmica.

4.1.1. AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Los aisladores elastoméricos están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Las láminas de elastómeros son vulcanizadas a las capas de acero y, por lo general, presentan una sección circular o cuadrada. Mediante esta configuración se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing).

4.1.1.1. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB)

Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDRB presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar. La Figura 26 muestra una vista de un corte de un aislador elastomérico tipo LDRB.



Figura 26. Aislador tipo LDRB.

4.1.1.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) son aisladores elastoméricos similares a los LDRB pero poseen un núcleo de plomo, ubicado en el centro del aislador, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. La Figura 27 muestra los componentes de un aislador elastomérico tipo LRB.

4.1.1.3. Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB)

Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%.

Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB y LRB. A su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación.

4.1.2. AISLADORES DESLIZANTES

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales utilizan una superficie de deslizamiento, típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica

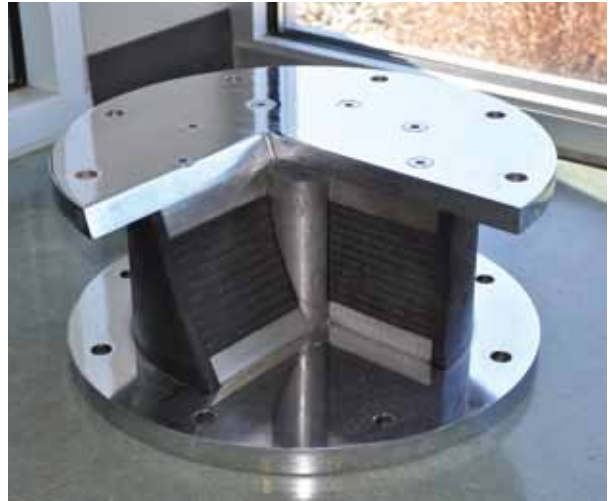


Figura 27. Aislador tipo LRB.



Figura 28. Apoyo deslizante plano.
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL MAULE (CHILE)



Figura 29. Combinación de apoyo deslizante y aislador elastomérico.
BERRY STREET PROJECT (EEUU)

permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Los aisladores deslizantes planos generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo) que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo. Adicionalmente, estos sistemas requieren de mayor mantención y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño.

4.1.2.1. Apoyos deslizantes planos

Los apoyos deslizantes planos son los aisladores deslizantes más simples. Consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la estructura y la otra a la fundación, que poseen un bajo coeficiente de roce, permitiendo los movimientos horizontales y resistir las cargas verticales. Poseen, generalmente, una capa de un material elastomérico con el fin de facilitar el movimiento del deslizador en caso de sismos. Por lo general, las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulida espejo, y de un material polimérico de baja fricción. Este tipo de aislación puede requerir de disipadores de energía adicionales. A fin de prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico, se debe proveer de sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo) que restituyan la estructura a su posición original. La Figura 28 muestra un esquema de un apoyo deslizante plano.

La combinación de estos sistemas con aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo permite, en general, ahorros de costos del sistema de aislación. La Figura 29 muestra la combinación de un apoyo deslizante con un aislador elastomérico.

4.1.2.2. Péndulos friccionales (FPS, Friction Pendulum System)

Los péndulos friccionales cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava. Los FPS, a diferencia de los apoyos deslizantes planos, cuentan con la característica y ventaja de ser autocentrantes. Luego de un

movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial gracias a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad. La Figura 30 muestra un esquema de un péndulo friccional.

4.2. Aspectos arquitectónicos

A diferencia de lo que sucede con la incorporación de disipadores de energía, los aisladores sísmicos no representan una tarea compleja en términos de solución arquitectónica, y ésta suele ser similar en todos los casos. En general, los dispositivos de aislación sísmica se instalan en las plantas bajas de los edificios, sobre las fundaciones, o entre el cielo del primer subterráneo y el primer piso de la estructura. Sin embargo, existen casos, como el mostrado en la sección 4.5 del presente capítulo, donde se ha instalado aisladores sísmicos en pisos superiores. Más aún, existen soluciones de protección sísmica orientadas a aislar solo la planta de un piso o de un recinto específico de un edificio. Este tipo de soluciones, conocidas como aislación sísmica de piso, no son tratadas en este documento.

Los aisladores sísmicos generan una interfaz donde, en caso de sismos, se produce un gran desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y la no aislada o el suelo. Este desplazamiento, que suele estar en el rango entre 40 y 60 cm (o más), debe ser considerado en el diseño de cañerías y ductos de servicios y redes distribuidas como agua, gas, electricidad, alcantarillado, red seca, etc., además de sistemas de ascensores, escaleras, accesos al edificio y, en general, cualquier instalación, servicio o componente arquitectónico que cruce de la estructura aislada a la no aislada. Un espacio de similares dimensiones debe disponerse alrededor de la estructura a fin de prevenir el impacto de la estructura aislada con sectores no aislados de la estructura o estructuras adyacentes.

Los aisladores sísmicos deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados y donde se les pueda dar mantenimiento en el caso que se requiera. Por requerimiento normativo, los aisladores sísmicos deben ser susceptibles de reemplazo. Se debe tomar las precauciones en el diseño arquitectónico para que esto sea factible.

Se recomienda considerar el uso de dispositivos de aislación sísmica desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto de su incorporación en la arquitectura.

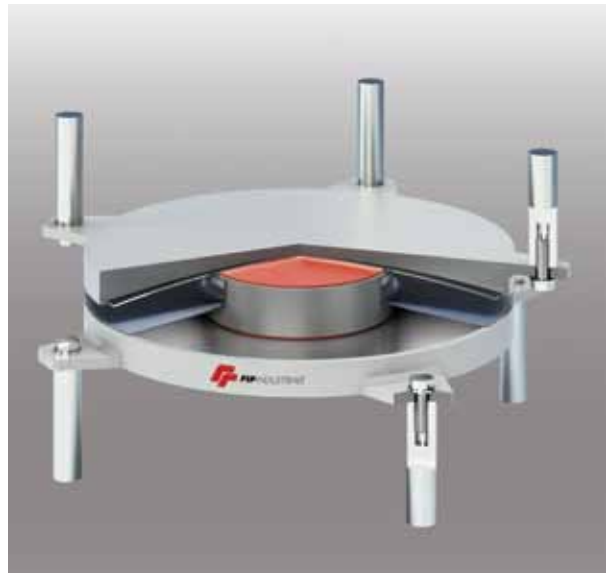


Figura 30. Péndulo friccional.



Figura 31. Aplicación apoyo elastomérico en base de tanque de agua. (EEUU)



Figura 32. Aplicación aislador elastomérico. EDIFICIO SAN AGUSTÍN (CHILE)



Figura 33. Aplicación aislador elastomérico. MUELLE CORONEL (CHILE)

4.3. Beneficios y limitaciones de uso

Beneficios: Los dispositivos de aislación sísmica actúan como filtro del movimiento sísmico, evitando que gran parte de la energía sísmica se traspase a la estructura aislada, reduciendo los esfuerzos y por lo tanto, el daño producido a elementos estructurales, no estructurales y contenidos de los edificios.

Limitaciones de uso: Algunos tipos de aisladores, como el caso de los aisladores deslizantes, requieren ser revisados luego de sismos excepcionalmente severos. Debido al desplazamiento relativo entre la estructura aislada y el suelo u otras estructuras no aisladas, todas las especialidades involucradas en un proyecto, y que se puedan ver afectadas por el desplazamiento de la estructura aislada, deben realizar diseños especiales de sus sistemas a fin de acomodar los desplazamientos esperados para el sistema de aislación.

4.4. Requisitos normativos

En Chile, la norma NCh2745.Of2003 rige el diseño de estructuras con aislación sísmica de base. La filosofía de esta norma es limitar el daño estructural y de contenidos en caso de sismos severos. Sin embargo, las disposiciones de la norma NCh433 siguen siendo obligatorias en tanto no contradigan las disposiciones de la norma NCh2745. Conforme a la normativa, se debe ejecutar ensayos de laboratorio en aisladores de prototipo y ensayos para el control de calidad de los aisladores de obra y de los materiales utilizados en su fabricación. Los aisladores de prototipo deben ser sometidos a ensayos de compresión y corte combinados a fin de refrendar las propiedades consideradas en el diseño. No obstante, para aisladores con dimensiones, materiales, fabricados utilizando el mismo proceso, y que cuenten con las mismas propiedades, ensayos efectuados con anterioridad pueden ser aceptados. El ingeniero diseñador debe definir un programa para el control de calidad del proceso de fabricación de los aisladores de obra.

Por otro lado, el nivel de protección contra fuego de los aisladores debe ser compatible con el nivel de protección contra fuego proporcionado a muros, columnas, vigas, u otros elementos estructurales ubicados en los recintos donde los aisladores se encuentren instalados.

4.5. Ejemplos y aplicaciones

En las figuras 31 a 39 se presentan ejemplos y aplicaciones de dispositivos de aislación sísmica de estructuras.



Figura 34. Aplicación apoyo deslizante.
HOSPITAL TAKASU (JAPÓN)

Aislador elástico instalado por DIS a nivel de techo para la ampliación de un edificio. En este caso se instaló aisladores con núcleo de plomo y deslizadores en el cielo de un edificio de tres pisos, para aislar sísmicamente una adición de dos pisos superiores. Esta adición funciona como AMS para la estructura existente.



Figura 35. Aplicación de apoyos elástico en techo de edificio.
BERRY STREET (EEUU)



Figura 36. Estructura reforzada.
SAN FRANCISCO CITY HALL (EEUU)



Figura 37. Aisladores elásticos.
SAN FRANCISCO CITY HALL (EEUU)



Figura 38. Estructura reforzada.
PUENTE GOLDEN GATE, SAN FRANCISCO (EEUU)



Figura 39. Aislador elástico.
PUENTE GOLDEN GATE (EEUU)

4.6. Consideraciones para la evaluación económica

A continuación se presenta una serie de costos y beneficios que deben ser considerados al evaluar económicamente la instalación de aisladores sísmicos. Estos aspectos varían dependiendo del tipo de aislación que se instale y las características de cada proyecto.

COSTOS:

- Costo de los dispositivos.
 - Costos del proyecto de aislación.
 - Costos de fabricación y ensayo de prototipos y aisladores de obra.
 - Costos de instalación. Costos directos (insertos, anclajes, etc.) y gastos generales por aumento de plazos.
 - Costo de protección al fuego de los dispositivos (en caso que se requiera).
 - Costo del sistema de conectores flexibles en las instalaciones y juntas de dilatación.
 - Costo del diafragma adicional requerido por sobre el nivel de aislación y columnas de gran dimensión o envigados por debajo del sistema de aislación.
 - Costos de la súper y subestructuras requeridas para alcanzar objetivos de desempeño compatibles con los provistos por el sistema de aislación.
- Costos de mantención e inspección.
- Costo de proveer un espacio físico adicional para la instalación de los aisladores.

BENEFICIOS:

- Beneficio de mantener la estructura operativa durante e inmediatamente después de ocurrido un sismo.
- Disminución de los costos de reparación de daños, luego de eventos sísmicos severos, dado que se reducen:
 - Daños de componentes y sistemas no estructurales.
 - Daños estructurales.
- Menores daños de contenidos de recintos.
- Beneficio para el mandante en reputación de marca. Ayuda a vender mejor los atributos del producto.
- Percepción de mayor seguridad por parte del usuario.



5. Preguntas frecuentes

El presente capítulo tiene por objetivo clarificar las consultas típicas de inversionistas, diseñadores, ingenieros y constructores en materia de aislación sísmica y disipación de energía en estructuras.

1. ¿Cuál es el beneficio que se consigue con el uso de estos sistemas de protección?

A través de la utilización de sistemas de protección sísmica se consigue una mejora considerable en el comportamiento sísmico de las estructuras. Esto se traduce en una reducción en los daños a elementos estructurales, no estructurales y en los contenidos de los edificios. Una consecuencia directa de esto último es el aumento de la posibilidad de utilizar los recintos protegidos sísmicamente durante e inmediatamente después de eventos sísmicos severos.

También existe un beneficio al mejorar la velocidad de ventas.

2. ¿Qué tipo de estructuras son adecuadas (o apropiadas) para la aplicación de aislación sísmica y disipación de energía?

Todo tipo de estructura, nueva o existente, donde se requiera proteger su contenido y/o que necesite continuar operando durante o inmediatamente después de ocurrido un sismo severo, así como estructuras donde el propietario o inversionista solicite alcanzar objetivos de desempeño superiores al de la normativa nacional vigente, tales como protección de la inversión y/o protección de la operación, son apropiadas para la incorporación de sistemas de protección sísmica. En general, el uso de aisladores sísmicos ha demostrado ser eficiente para reducir demandas sísmicas en estructuras no demasiado altas, mientras los disipadores de energía, típicamente resultan más eficientes cuando se utilizan en estructuras esbeltas o flexibles, o que se encuentran ubicadas en suelos de baja competencia geotécnica.

Las estructuras más propicias para el uso de sistemas de protección sísmica son estructuras críticas, esenciales, estratégicas, y/o con contenidos de gran valor, tales como hospitales, colegios, edificios públicos e industriales, museos, datacenters, puertos, puentes y aeropuertos, entre otros. Los sistemas de protección también se han utilizado con éxito en edificios de oficinas y residenciales, ajustándose a los costos del mercado.

3. ¿Cuál es la diferencia entre un aislador sísmico y un disipador de energía?

Los aisladores sísmicos generan una interfaz flexible entre el suelo y la superestructura, evitando que parte de los movimientos generados por un sismo se transfieran a la estructura, protegiendo de esta forma elementos estructurales y no estructurales. Los disipadores de energía, por su parte, son dispositivos que se ubican en puntos estratégicos de las estructuras, y que absorben la energía debida a sismos, vientos u otros, reduciendo el daño que esta energía pueda provocar en elementos estructurales y no estructurales. Los principios de acción de ambos sistemas son intrínseca y conceptualmente distintos. Los aisladores sísmicos reducen la energía del sismo que ingresa a la estructura, mientras que los disipadores de energía permiten disipar parte de la energía que ingresa a la estructura por medio de dispositivos especialmente diseñados para esos fines.

4. ¿Cómo se han comportado estructuras con aislación sísmica y disipadores de energía en sismos anteriores?

De acuerdo a observaciones registradas en los últimos grandes terremotos, en especial el ocurrido en Japón en marzo del 2011 donde se puso a prueba una gran cantidad de edificios con sistemas de protección sísmica, se puede concluir que los sistemas de protección sísmica han tenido un rendimiento sobresaliente. Un caso emblemático es el Teaching Hospital de la Universidad de South California (USC) en los Angeles (EEUU), construido sobre 81 apoyos elastoméricos y 68 aisladores con núcleo de plomo, que ubicado a 36 kilómetros del epicentro del terremoto de Northridge (1994) no sufrió daños estructurales ni en sus contenidos y pudo continuar operando. En esta estructura, que se encuentra totalmente instrumentada, el sistema de aislación permitió reducir en un 75% las aceleraciones de campo libre. En comparación, un hospital ubicado en las cercanías del hospital de USC, no pudo seguir operando y sufrió daños cercanos a los 400 millones de dólares.

De manera similar, durante el terremoto del Maule del 27 de febrero del 2010, se pudo observar que las escasas estructuras del país con protección sísmica se comportaron de buena manera, registrando daños incipientes (o casi nulos) en elementos estructurales, no estructurales y conteni-

dos. No obstante, se debe mencionar que ninguna de estas estructuras se ubicaba en las cercanías del área epicentral. Un caso particular es el Nuevo Hospital Militar ubicado en la comuna de La Reina. Este hospital cuenta con parte de su estructura aislada y otra no. En este caso se pudo observar como la sección aislada sufrió daños considerablemente menores que la sección no aislada de la estructura.

5. ¿Puede aislarse una estructura existente?

Sí, es posible utilizar aisladores para la rehabilitación o refuerzo de estructuras donde se busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente, o llevarlas a satisfacer los requisitos de resistencia exigidos por los códigos actuales. Este tipo de metodología se ha aplicado exitosamente para la protección sísmica de estructuras con gran valor patrimonial, principalmente en Estados Unidos y se conoce como RETROFIT. Ejemplos de ello son el City Hall y el Puente Golden Gate en San Francisco y el LAX Theme Building en Los Angeles.

6. ¿Puede incorporarse disipadores de energía en una estructura existente?

Sí, los disipadores de energía pueden ser utilizados tanto en el diseño de estructuras nuevas como en el refuerzo de estructuras existentes, las cuales en algunos casos requerirán elementos estructurales adicionales para soportar los disipadores. Disipadores de energía se han utilizado vastamente para mitigar problemas de vibraciones en estructuras producidas por operación o tráfico, y para el refuerzo sísmico de estructuras que han presentado daños durante sismos, o cuyos propietarios han deseado alcanzar niveles de protección compatibles con estándares de diseño actuales.

7. ¿Cuáles son los requisitos de mantención de los aisladores y disipadores?

Los requisitos de mantención dependen de cada tipo de aislador o disipador en particular. Buena parte de los sistemas de aislación sísmica y disipación de energía disponibles en el mercado no requieren de mantención. Dicha condición debe ser exigida por el diseñador y garantizada por el fabricante. Todos los sistemas de aislación sísmica o disipación de ener-

gía requieren se efectúe una inspección visual de los dispositivos luego de la ocurrencia de sismos severos.

8. ¿Cuál es la vida útil de los dispositivos?

Normalmente los dispositivos son diseñados para una vida útil mínima de 50 años. Esta condición debe ser exigida por el diseñador en las especificaciones técnicas de los dispositivos, y garantizada por el fabricante.

9. ¿Cuáles son los costos de la protección sísmica?

Los costos de la protección sísmica dependen del sistema que se instale, de las características y requisitos del proyecto, y de los costos de los servicios o recintos que puedan verse afectados por los sistemas de protección sísmica, entre otros factores. Son muchas las variables a considerar y deben ser estudiadas para cada proyecto en particular. Mayores detalles sobre las consideraciones para el análisis económico de la implementación de sistemas de disipación de energía y aislamiento sísmico se pueden encontrar en los Capítulos 3 y 4, respectivamente.

10. ¿Dónde se pueden colocar los aisladores sísmicos y los dispositivos de disipación de energía dentro de una estructura?

Los aisladores suelen instalarse a nivel de cielo del primer subterráneo o entre las fundaciones y la superestructura. Por su parte, los disipadores se instalan en puntos específicos distribuidos en toda la altura de la estructura, generalmente en puntos extremos de las plantas, a fin de controlar efectos de torsión. Una excepción a esta configuración corresponde a los disipadores de masa sintonizada, que suelen ubicarse a nivel de techo de las estructuras. En el caso de puentes, los sistemas de aislación sísmica y disipación de energía son instalados entre las cepas y el tablero. La Figura 40 muestra aisladores sísmicos instalados en un puente.

11. ¿En qué etapa del proceso constructivo se deben instalar los disipadores de energía?

Los disipadores de energía pueden ser instalados una vez que la obra gruesa de los elementos que los soportan este lista. También pueden instalarse en etapas posteriores de la construcción. Los insertos en hormigón, requeridos para

la conexión de los disipadores a la estructura, deben ser instalados conforme avanza la obra gruesa.

12. ¿Se requiere algún tipo de inspección especializada durante el proceso constructivo?

Si se requiere inspección especializada durante la construcción. Sin embargo, la supervisión es similar a la de una estructura convencional. El proceso de montaje se ejecuta por medio de técnicas y procedimientos utilizados convencionalmente en construcción. La Figura 41 muestra la instalación de un péndulo friccional.

13. ¿Se requerirá de personal o equipo especial para el montaje?

No se requiere ni personal ni equipos especiales para el montaje de sistemas de aislación sísmica o disipación de energía en estructuras. El fabricante de los dispositivos debe proporcionar las especificaciones para la manipulación y montaje de los dispositivos. El montaje de los dispositivos de protección sísmica requiere de recursos convencionales como grúas o elementos para izar y elementos de control topográfico. La Figura 42 muestra el momento en que se ubica un aislador en su posición en la estructura.

14. ¿Se prolongará el tiempo de edificación, por la instalación de estos dispositivos?

Es probable que el plazo de ejecución de la obra aumente ligeramente por la instalación de los sistemas de aislación sísmica o disipación de energía. La instalación de algunas soluciones particulares de protección sísmica conlleva una nueva faena lo que implica un aumento de plazo.

15. ¿Cuáles son los requisitos de protección contra fuego de los dispositivos?

Los requisitos de protección contra fuego de los dispositivos son los mismos de los elementos estructurales de las áreas donde estos son instalados. Es decir, si los elementos estructurales del sector donde se encuentran los aisladores sísmicos se encuentran protegidos para un determinado nivel de resistencia al fuego, el mismo nivel de protección contra fuego debe considerarse para el sistema de protección sísmica. Normativamente se requiere protección al fuego, cuando la estructura requiere protección. La



Figura 40. Puente con aisladores sísmicos.



Figura 41. Proceso de instalación de péndulo friccional. DATA CENTER SONDA (CHILE)



Figura 42. Instalación de aislador sísmico. UNIVERSIDAD CATOLICA DEL MAULE (CHILE)



Figura 43. Protección contra fuego de aisladores sísmicos.
CHANNING HOUSE CALIFORNIA (EEUU)



Figura 44. Ensayo de aislador elastomérico.
DIS (EEUU)

Figura 43 muestra un ejemplo de la protección contra fuego provista para un sistema de aisladores sísmicos.

16. ¿Cuáles son los requisitos de ensayo de los dispositivos?

Los requisitos de ensayo para los aisladores sísmicos se establecen en la norma NCh2745. Conforme a esta normativa se debe ejecutar ensayos de laboratorio en aisladores de prototipo y ensayos para el control de calidad de los aisladores de obra y de los materiales utilizados en su fabricación. El objetivo de los ensayos de aisladores de prototipo es refrendar los parámetros considerados en el diseño estructural. Los detalles del programa de ensayos de prototipos se encuentran explícitamente establecidos en la norma NCh2745. La normativa establece que el programa de ensayos para el control de calidad de los dispositivos debe ser definido por el ingeniero diseñador para cada aplicación en particular. La Figura 44 muestra un aislador elastomérico siendo ensayado en laboratorio.

Para el caso de los disipadores de energía, la normativa que se encuentra en desarrollo, al igual que la norma NCh2745, incluirá requisitos para el ensayo de disipadores de prototipo orientados a validar las propiedades consideradas en el diseño y análisis de la estructura. El procedimiento para controlar la calidad de los disipadores, debe ser establecido por el ingeniero calculista responsable del diseño estructural del edificio.

17. ¿Se puede reducir el costo de la estructura?

La normativa vigente no está orientada a reducir los costos iniciales de las estructuras con sistemas de protección sísmica, aunque especialmente en el caso de aislamiento sísmica es posible generar algún grado de aligeramiento de la estructura sismoresistente. De todas formas, el objetivo principal de los dispositivos de protección sísmica es mejorar la respuesta y seguridad sísmica de las estructuras. En general la inversión inicial en una estructura con sistemas de protección sísmica suele ser mayor que una estructura convencional. No obstante, la reducción de la probabilidad de daño estructural y no estructural durante un evento sísmico severo durante la vida útil de la estructura compensa la inversión inicial.



18. ¿Qué tipo de garantía tienen estos dispositivos?

La garantía que se ha solicitado en proyectos ejecutados en Chile, a la fecha, ha sido de 15 años. La garantía solicitada ha estado relacionada con deficiencias de fabricación que se identifiquen durante el periodo de vigencia de la garantía.

19. ¿Cuáles son los plazos típicos requeridos para fabricación y ensayo?

En el caso de aisladores sísmicos, la fabricación, ensayo de prototipos, y ensayo de aisladores de obra, puede requerir un plazo que varía entre 2 y 6 meses (o más), dependiendo de la cantidad de aisladores requeridos y su procedencia (nacional o importados).

El plazo requerido para la fabricación de disipadores es también variable. Dispositivos metálicos pueden ser de rápida fabricación, requiriendo de entre 2 y 4 meses para su fabricación y ensayo, mientras que disipadores tipo viscoso pueden requerir 4 a 8 meses para su fabricación y ensayo.

A los plazos de fabricación y ensayo debe sumarse, en el caso de dispositivos importados, los plazos requeridos para transporte e internación, típicamente de entre 4 y 6 semanas.

20. ¿Cómo se deben estructurar ascensores y escaleras en un edificio con aisladores?

Las escaleras típicamente se apoyan en la superestructura aislada y deslizan sobre la estructura bajo el nivel de aislación. La estructura del sistema de ascensores, al igual que las escaleras, típicamente se suspende desde la superestructura. Es posible bajar el nivel de aislación localmente de manera de incluir el pozo de los ascensores en la superestructura.

21. ¿Cómo se resuelve el tema de los accesos a un edificio aislado?

Los puntos de acceso al edificio típicamente están fijos a la superestructura y deslizan sobre la estructura bajo el nivel de aislación o suelo. Es posible disponer deslizadores para permitir los movimientos horizontales.

22. ¿Cómo se acomodan las instalaciones básicas en su cruce por la interfaz de aislación?

Los ductos, canalizaciones, tuberías, y otros sistemas distribuidos que cruzan la interfaz de aislación, deben ser

diseñados de manera de acomodar los movimientos horizontales de la interfaz de aislación. Para ello, deben utilizarse conexiones flexibles o sistemas de articulaciones.

23. ¿Vuelve una estructura aislada a su posición original después de un terremoto?

La normativa nacional vigente establece la capacidad de restitución mínima que deben poseer estos sistemas, de manera que una estructura aislada vuelva a su posición original luego de concluida la acción sísmica, dependiendo del tipo de aislador que se utilice. Para el caso de aisladores sin la capacidad de regresar la estructura a su posición original se utilizan dispositivos adicionales que cumplan esa función.

24. ¿De qué magnitud es el desplazamiento del sistema de aislación en una estructura aislada?

Los desplazamientos deben ser determinados para cada proyecto en particular, ya que dependen de la geometría de la estructura, y de la magnitud del sismo, tipo de sistema de aislación, amortiguamiento del sistema de aislación sísmica, zona sísmica y tipo de suelo, entre otros factores.

25. ¿Es peligroso para la salud el plomo contenido en los aisladores con núcleo de plomo?

No, el plomo contenido en los aisladores se encuentra confinado por los anillos de elastómeros y metal, y no se encuentra en contacto con el ambiente. Es decir, no presenta riesgo alguno para la salud.

26. ¿Cuál es la respuesta en la dirección vertical de una estructura aislada?

Por lo general, los aisladores tienen una rigidez vertical que es comparable con la de los demás elementos estructurales. Sin embargo, la normativa vigente establece los requisitos de rigidez vertical mínima que deben satisfacer los sistemas de aislación sísmica, a fin de prevenir eventual amplificación dinámica en la dirección vertical.



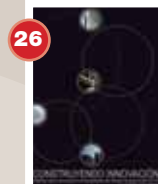
29 **Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía 2011**



28 **Recomendaciones Técnicas para la Especificación de Ventanas 2011**



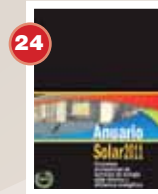
27 **Inspección Técnica de Obras: Una Mirada al Futuro de la Calidad 2011**



26 **Construyendo Innovación 2010**



25 **Sistemas Solares Térmicos II 2010**



24 **Anuario Solar 2011 2010**



23 **Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales 2010**



22 **Compendio Técnico para Maquinaria de Movimientos de Tierra 2010**



21 **Reacondicionamiento Térmico de Viviendas en Uso 2010**



20 **Manual de Tolerancias para Edificaciones 2009**



19 **Aislación Térmica Exterior Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones 2008**



18 **Sistemas Solares Térmicos 2007**



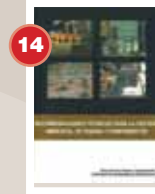
17 Guías para resultados para la optimización de la logística interna en obras de construcción
2007



16 Diagnóstico de la relación Mandante Contratista
2006



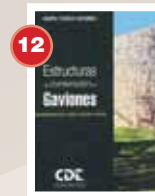
15 Recomendaciones Técnicas para el diseño, fabricación, instalación y mantención de muros cortinas
2006



14 Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en Faenas y Campamentos
2005



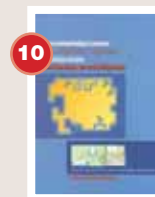
13 Guía de Diseño y Construcción Sustentable
2005



12 Estructuras de Contención en Gaviones
2004



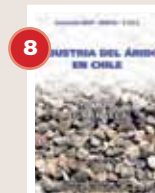
11 Recomendaciones Técnicas para Demarcaciones Horizontales
2004



10 Recomendaciones para proyectar y ejecutar Instalaciones Sanitarias Domiciliarias
2003



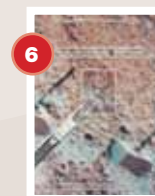
9 Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Suelo Mecánicamente Estabilizado con Armadura Inextensible
2002



8 Industria del Árido en Chile TOMO II
2001



7 Industria del Árido en Chile TOMO I
2001



6 Recomendaciones para Diseño, Ejecución y Control de Anclajes Inyectados y Postensados en Suelos y Rocas
2001



**Recomendaciones para
Pintado Arquitectónico
2000**



**Recomendaciones para
la Selección e Instalación
de Ventanas
1999**



**Efectos del Agua Lluvia en
Muros de Albañilería
y Problemas de Humedad
en Elementos Constructivos
1998**



**Incentivos en la Construcción
1998**



**Recomendaciones para el
Diseño de Pavimentos en Chile
Según AASHTO
1997**



PROYECTO FINANCIADO POR

InnovaChile
CORFO

Protección sísmica de estructuras

El presente documento técnico, elaborado por la CDT junto a destacadas empresas especialistas en protección sísmica, entrega antecedentes generales sobre las distintas alternativas de aislación y disipación de energía, sus aplicaciones, beneficios y consideraciones para la evaluación técnico-económica. Asimismo, el documento entrega respuestas a las consultas recurrentes que los usuarios formulan en el ámbito de protección sísmica de estructuras. De esta forma, este documento permitirá a profesionales y usuarios en general, aumentar sus conocimientos e información técnica en esta materia, con el fin de evaluar el uso de sistemas de protección sísmica en sus próximos proyectos.

