

PROTECCIÓN SÍSMICA

APRENDIZAJE EN MOVIMIENTO

■ Debido a los constantes terremotos a los que se ven expuestas las edificaciones en nuestro país, la protección sísmica ha adquirido una gran relevancia al momento de desarrollar proyectos de construcción. La normativa se ha ido modificando en busca de incorporar mejoras que entreguen mayor seguridad a las obras así como confort a los usuarios. La aislación sísmica y la disipación de energía son dos de las vertientes de protección más utilizadas para estos fines.

ALFREDO SAAVEDRA L.
PERIODISTA REVISTA BIT



A POCOS DÍAS de las celebraciones de fiestas patrias, la naturaleza hizo sentir nuevamente su poder, esta vez con un fuerte terremoto en el norte del país (Illapel, cuarta región).

Y es que Chile tiene una de las mayores actividades sísmicas del mundo, debido a su ubicación en el llamado “Cinturón de fuego del Pacífico”. Esta situación, que a primera vista es algo desalentadora, ha sido fundamental para el desarrollo ingenieril, arquitectónico y constructivo de soluciones y tecnologías de protección sísmicas.

“El escenario de nuestro territorio ayuda a un constante aprendizaje. Da la oportunidad de verificar que la normativa sea la adecuada y en caso contrario, permite ir modificándola, como sucedió luego del terremoto de 2010, a través de los decretos 60 y 61”, cuenta Sebastián Varas, ingeniero civil de VMB Ingeniería Estructural. Este aprendizaje también se ve reflejado en la forma de construir ya que se ha desarrollado una manera exitosa en base a muros de hormigón armado. “Otros países tienen distintas tipologías de construcción que son más abiertas, con edificios de marcos, donde las separaciones entre departamentos se hacen con tabiquería más o menos sólida, pero nosotros tenemos una estructuración que funciona muy bien para nuestros sismos y tenemos la fortuna de poder probar en la práctica que nuestras consideraciones normativas son las adecuadas”, agrega.

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. Específicamente, la normativa nacional vigente, NCh433.Of96.Mod2009 y Decreto Supremo DS61 de 2011, señalan que las estructuras convencionales son diseñadas para que: resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada; limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad; y aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa, salvaguardando la vida de sus ocupantes.



GENTILEZA RBA/ DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

La implementación de sistemas de protección sísmica tales como aislación y/o disipación de energía permite, según los expertos consultados, una mejora considerable al comportamiento dinámico de las estructuras y alcanzar los objetivos indicados anteriormente.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

De acuerdo al ingeniero civil estructural y socio fundador de S y S Ingenieros consultores, Mauricio Sarrazín, aunque todo el cálculo estructural está relacionado con la "protección sísmica", se entiende actualmente por sistemas de protección a métodos innovadores, como la aislación sísmica en la base, los dispositivos de disipación de energía que se incorporan a la estructura o los sistemas de masas sintonizadas, que son péndulos que se colocan en la parte superior del edificio para aumentar la disipación de energía. "De estos tres métodos, la aislación en la base es el más efectivo. El diseño de estructuras con aislación sísmica se hace de acuerdo a la norma NCh 2745", señala, agregando que el diseño de disipadores de energía y de sistemas de masas sintonizadas no está todavía normado, pero hay un borrador de norma para el caso de estructuras con disipadores.

Estas vertientes (aislación y disipación) son estrategias distintas que se usan en las estructuras. "Cuando elijo un esquema de aislación sísmica básicamente lo que hago es impedir que el movimiento del suelo entre a mi estructura. Para ello hay varios dispositivos como aisladores de goma, con núcleo de plomo, de péndulo friccional (dobles, triples) que consiguen que la deformación impuesta por el suelo producto de un sismo, se concentre en esta interfaz de aislación, permitiendo que la súper estructura quede sometida a aceleraciones considerablemente menores que un edificio

Los aisladores sísmicos deben instalarse en puntos donde puedan ser inspeccionados.



no aislado", explica Varas, indicando que estas reducciones pueden ser del orden de un 70-80%, lo que permite la protección sísmica no solo de la estructura, sino también del contenido de la construcción y su continuidad operacional, algo fundamental en edificios de servicios como agencias de manejo de emergencias y hospitales, entre otros.

Respecto a la disipación de energía, el ingeniero comenta que son sistemas donde se utilizan dispositivos ubicados estratégicamente en la estructura que permiten disipar la energía de manera controlada, a través de liberación de calor al ambiente. "Esa mayor disipación de la energía que entra en la estructura, causa una respuesta reducida: la estructura se mueve menos y por menos tiempo y alcanza el reposo en forma anticipada respecto a una estructura equivalente que no tenga elementos de disipación de energía", explica Varas.

Dentro de las consideraciones que toma en cuenta el cálculo estructural para analizar una opción de protección sísmica se encuentra la ubicación de la estructura en el territorio, lo

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).



GENTILEZA, SIRVE S.A.

que determina la intensidad sísmica a considerar. "Las zonas sísmicas van desde 1 (menor intensidad) hasta 3 (máxima intensidad). Esta última corresponde a lugares cercanos a la costa. Santiago es zona 2", indica Sarrazín. También se considera la calidad del suelo de fundación ya que esto define ciertos parámetros que determinan la demanda sísmica en función del período propio de vibrar del edificio (espectro de diseño). También se debe tomar en cuenta el material de que está hecha la obra (albañilería, hormigón armado, acero, madera), el tipo de estructuración (que puede ser de marcos, marcos dúctiles, muros, reticulados, etcétera) y el nivel de importancia de la obra a través de un parámetro I, que puede ser igual a 0.8 para obras provisionarias, 1.0 para obras normales o 1.2 para obras críticas, como hospitales. "También se limita la deformación que puede producir el sismo entre pisos consecutivos, para proteger las particiones y otros elementos no-estructurales", agrega el experto. La disponibilidad de espacio alrededor de la obra también es un aspecto importante. "Un

edificio con aislación sísmica necesita moverse, horizontalmente dependiendo el tipo de suelo y la zona sísmica, entre 20-60 centímetros, y en general, es preferible usar aislación en la mayoría de los proyectos ya que los beneficios son significativamente mayores”, señala Rodrigo Retamales, ingeniero civil de RBA.

De acuerdo al documento técnico “Protección sísmica de estructuras” (2011), publicado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, los sistemas de protección sísmica de estructuras utilizados en la actualidad incluyen diseños relativamente simples hasta avanzados sistemas totalmente automatizados y pueden clasificarse en tres categorías: sistemas activos, semi-activos y pasivos. Los primeros, son sistemas complejos que incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos. Estos sistemas monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos sísmicos. Los sistemas activos constituyen una de las mejores

alternativas de protección 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, sin embargo dentro de sus desventajas están su costo y que necesitan de una fuente de alimentación externa continua para su funcionamiento durante un sismo.

Los sistemas semi-activos, en tanto, al igual que los anteriores, 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 pues actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semiactivos, los dispositivos de fricción con fricción controlable y los disipadores con fluidos electro- o magneto-reológicos.

Por su parte los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica más utilizados en la actualidad. 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. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía, que revisaremos a continuación.

AISLACIÓN SÍSMICA

La aislación sísmica consiste esencialmente en modificar el periodo natural de la estructura, aumentándolo, mediante la adición de elementos flexibles entre la estructura y la fundación. “Estos sistemas filtran el movimiento reduciendo las vibraciones que penetran a la estructura, evitando así daños en esta. Su efectividad puede alcanzar hasta un 70 a 80 por ciento”, señala Sarrazín.

El aislamiento sísmico es utilizado para la protección de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. Y es que dentro de los beneficios del uso de dispositivos de aislación es que actúan como filtro del movi-



CAVE®

CAVE presenta dos alternativas revolucionarias para el mercado de Infraestructura y Hormigón. “SENTINEL y PU700”.

PU 700®

PU 700 es un adhesivo de **Poliuretano** diseñada para el pegado de una gran variedad de materiales de construcción, como una alternativa real al mortero tradicional.



SENTINEL®

SENTINEL es un ánodo de sacrificio, que entrega una corriente protectora logrando la pasivación de la corrosión del acero.

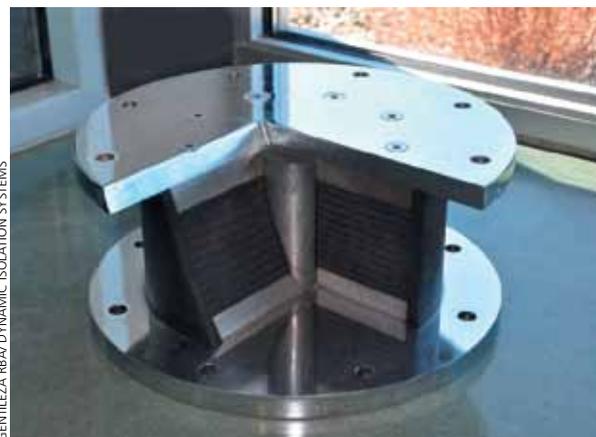


CAVE, en la creación de la Plaza Central de Expohormigón 2015, a cargo de su Sub Gerente de MKT Daniela Amigo.



EUCLID GROUP

SENTINEL
PU 700



GENTILEZA RBA/DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

miento 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. “El aislamiento es la solución que brinda un mejor desempeño sísmico al desacoplar el movimiento del suelo del movimiento de la estructura, reduciendo así la respuesta dinámica por un factor de hasta 8 veces. Así, al incorporar aislamiento sísmico, se reducen las fuerzas sísmicas inducidas en la estructura, y por ello podemos diseñar un sistema estructural más liviano, lo cual compensa en parte los costos adicionales de la solución de aislamiento, pero también permite mayor flexibilidad arquitectónica y optimización de los espacios para la distribución de ductos e instalaciones”, detalla Ignacio Vial, gerente general de SIRVE S.A.

Los aisladores sísmicos más desarrollados y utilizados en la actualidad son los aisladores elastoméricos (con o sin núcleo de plomo) y los deslizantes o friccionales. Los primeros están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero, configuración que 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.

Según se detalla en el documento técnico de la CDT, existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre los que se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amorti-

LOS AISLADORES SÍSMICOS MÁS DESARROLLADOS Y UTILIZADOS EN LA ACTUALIDAD SON LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS (CON O SIN NÚCLEO DE PLOMO) Y LOS DESLIZANTES O FRICCIONALES.



GENTILEZA RBA/DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

guamiento (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). En el caso de los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Su ventaja es que son fáciles de fabricar. Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), en tanto, son 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 por ciento. Al deformarse lateralmente 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 recrystaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. “Estos son los que se usan masivamente para la protección de infraestructura crítica y variadas aplicaciones. Son de diversos tamaños y la relación costo/beneficio, en relación a los sistemas de disipación de energía, es mayor”, agrega Retamales.

Por su parte en los aisladores elastoméricos

de alto amortiguamiento (HDRB) sus láminas de elastómeros son fabricadas adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15 por ciento. Los HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los tipos de aisladores anteriores y a su vez, tienen una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercero. Estos dispositivos, al igual que los de tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser de relativamente fácil fabricación.

Otros tipos de aisladores son los deslizantes o también llamados deslizadores friccionales, que utilizan una superficie, 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. También están los péndulos friccionales (FPS) que cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava. Los FPS cuentan con la característica y ventaja de ser autocentrantes, es decir, tras 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.

En términos de solución arquitectónica, la incorporación de aisladores sísmicos no repre-

senta una tarea compleja. Generalmente, 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. Según se detalla en el documento técnico, los aisladores 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, que suele estar en el rango de entre 40 y 60 cm (o más), lo que debe ser considerado en el diseño de cañerías y ductos de servicios y redes distribuidas como agua, gas, electricidad, alcantarillado, red seca y, en general, en 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 aislada a fin de prevenir el impacto con sectores no aislados de la estructura o estructuras adyacentes. Los aisladores sísmicos deben ser instalados en puntos donde puedan ser inspeccionados y se les pueda dar mantención. Además, por requerimiento normativo, deben ser susceptibles de reemplazo.

DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Esta vertiente consiste en agregar disipadores como parte de la estructura, lo cual aumenta su amortiguamiento reduciendo así la respuesta ante movimientos sísmicos. "Su efectividad es del orden del 30%, dependiendo de la estructura, el tipo de disipador, las condiciones locales del suelo y las características del sismo", explica Sarrazín, agregando que es más adecuado usar la disipación para suelos blandos y estructuras flexibles, mientras que la aislación en la base es efectiva en general cuando el edificio es relativamente rígido y el suelo firme.

A diferencia de los aisladores, los disipadores no evitan que las fuerzas y movimientos sísmicos se transfieran desde el suelo a la estructura, sino que 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.

Los dispositivos de disipación de energía del tipo viscoso, ubicados en puntos estratégicos

de las estructuras, permiten reducir considerablemente la respuesta estructural. "Tienen la característica que solo añaden amortiguamiento al edificio, lo que significa que no agregan rigidez, permitiendo que el movimiento del edificio sea suavizado", explica Retamales.

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 y dentro de las alternativas de protección, los sistemas pasivos de disipación pueden clasificarse como activados por desplazamientos, velocidades, una combinación de ambos o por movimiento (fuerzas inerciales). En el caso de los primeros, 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

Sistema Integral para Proyectos Eficientes



MUROS EXTERIOR

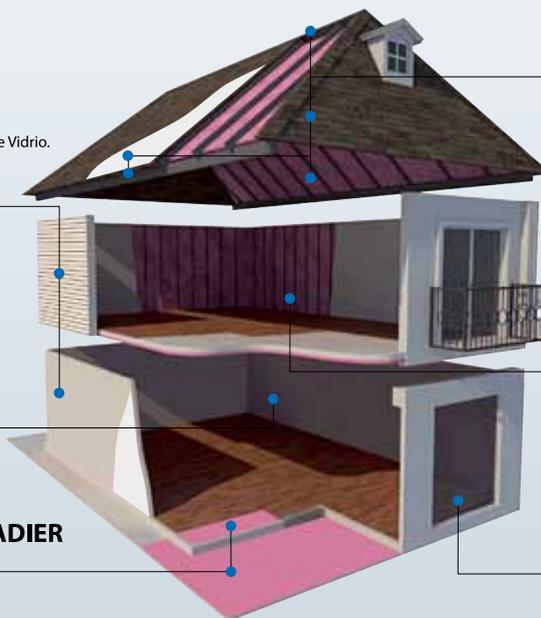
Durock®/Placa Cemento
Securock®/Glass Mat/Placa Yeso con Fibra de Vidrio.
Vinyl Siding/Revestimiento Vinílico
Typar HW®/Membrana Hidrófuga

MUROS INTERIORES

Durock®/Placa Cemento
Fiberock®/Placa Fibro Celulosa
HardFoil®/Barrera de Vapor

AISLACIÓN PISOS Y BAJO RADIER

Foamular®/Poliestireno Extruido MX



TECHUMBRE

Oakridge®/Tejas Asfálticas Laminada Doble
VentSure®/Cumbrera Ventilada
Aislhogar®/Aislante Fibra Vidrio
Typar HW®/Membrana Hidrófuga
HardFoil®/Barrera de Radiación
Aleros Ventilados
Celosías Ventilación
Clavos Especial Tejas Asfálticas

AISLAMIENTO TÉRMICO-ACÚSTICO

Aislhogar®/Aislante Fibra Vidrio
Aislacustic®/Aislante Fibra

BAÑOS-COCINAS

Durock®/Placa Cemento



**Ejemplo
de ensayo de
un aislador
sísmico en
laboratorio
de Dictuc.**



GENTILEZA DICTUC



GENTILEZA VMB INGENIERÍA ESTRUCTURAL

La disipación de energía consiste en agregar disipadores como parte de la estructura, lo cual aumenta su amortiguamiento reduciendo así la respuesta ante movimientos sísmicos. Pueden quedar ocultos en la estructura o a la vista como en la imagen.

clasificación se encuentran los dispositivos metálicos (que disipan energía por medio de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos), friccionales (disipan energía por medio de la fricción que se produce durante el desplazamiento relativo entre dos o más superficies en contacto), de extrusión de materiales (basan su comportamiento en la extrusión de materiales - típicamente plomo - a través de perforaciones) y los sistemas autocentrantes (que basan su comportamiento en los ciclos histéreticos que se producen en conexiones o elementos pretensionados).

Por su parte, los disipadores activados por velocidad, lo hacen 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. Ejemplos son los dispositivos fluido-viscosos y los muros viscosos, compuestos por una placa que se mueve en un fluido altamente viscoso depositado al inte-

rior 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.

En el caso de los disipadores activados por desplazamiento y velocidad, añaden simultáneamente, amortiguamiento y rigidez a las estructuras. Dentro de esta categoría están los dispositivos formados por material viscoelástico ubicado entre placas de acero que disipan energía a través de la deformación del material viscoelástico producida por el desplazamiento relativo de las placas. Generalmente se ubican acoplados en arriostres que conectan distintos pisos de la estructura.

Por último, dentro de la categoría de los dispositivos activados por movimiento se incluyen los osciladores resonantes o amortiguadores de masa sintonizada. Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Un amortiguador de este tipo es un sistema cons-

tituido por una masa, elementos restitutivos, y mecanismos de disipación de energía. Según se señala en el documento técnico, 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 sistemas más utilizados son disipadores metálicos (ADAS, TADAS, UFP), viscosos, friccionales y viscoelásticos. Con estas soluciones se pueden lograr reducciones de aceleraciones y deformaciones de entrepiso entre un 15 y un 40%, dependiendo de las características de la estructura, el dispositivo considerado y su distribución en el edificio”, detalla Vial, agregando que para cada caso hay que evaluar cuál es la mejor solución. “Un parámetro a utilizar para evaluar las distintas alternativas es el denominado “Factor de desempeño estructural” o FDE en el cual se evalúa cuánto vale obtener cada porcentaje de reducción de la respuesta (\$/%); así se puede obtener el “Factor de desempeño óptimo” o FDO como el mínimo de los FDE de cada solución. Con ello se conoce aquella solución que por el mismo costo entrega una reducción mayor, o que por menor costo genera la misma reducción”, explica el ingeniero.

En cuanto a los aspectos arquitectónicos, dependerán del tipo de disipador de energía que se instale en la estructura. Y es que 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 las que se ven sometidas durante eventos sísmicos. 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 mantenimiento en los casos en que se requiera y al igual como sucede con los aisladores se recomienda considerar su uso desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto de su incorporación en arquitectura.

EJEMPLOS DE USO

Estas tecnologías se han aplicado a gran cantidad de obras. Un ejemplo es el edificio Andalucía construido en 1992 y que se transformó en el primer proyecto chileno aislado sísmicamente. “Se trata de un edificio de albañilería confinada y hormigón armado de cuatro pisos para viviendas económicas ubicado en el sector sur de la comuna de Santiago. En este caso se construyeron dos edificios idénticos, uno con fundación tradicional y otro con aislación

basal, consistente en apoyos de goma de alto amortiguamiento”, cuenta Sarrazín, agregando que ambos edificios están instrumentados con una red de acelerómetros, los cuales han registrado numerosos sismos. “Para el 27-F, las aceleraciones máximas a nivel del techo en el edificio sin aislación fueron aproximadamente cuatro veces la correspondientes en el edificio aislado”, explica el ingeniero.

Otro caso destacado es el puente Marga Marga (1996), ubicado en Viña del Mar. Fue el primer puente que incluyó aisladores sísmicos elastoméricos, consiguiéndose con esto, una reducción importante en los requerimientos de diseño impuestos a las cepas y estribos y permitió reducir el número de pilotes de fundación. La superestructura del puente está formada por 4 vigas continuas de acero, con un tablero de hormigón armado, apoyadas en 36 aisladores sísmicos de alto amortiguamiento. Con posterioridad a la construcción del Marga Marga, en la mayoría de los puentes importantes construidos a lo largo del país, se inclu-

yeran aisladores sísmicos tanto elastoméricos como de neopreno.

En proyectos más actuales, está el caso del edificio habitacional Ñuñoa Capital de Inmobiliaria y Constructora Armas, conformado por dos torres independientes de 28 pisos cada una, que integra un sistema de aislación basal, compuesto por una gran losa debajo de los subterráneos y 24 aisladores debajo de esta, que permiten reducir en algunos casos hasta un 80% las deformaciones de la estructura ante un movimiento sísmico. Los aisladores están fabricados con goma natural, con y sin núcleos de plomo. Sus diámetros fluctúan entre los 115 y 155 cm de diámetro, con capacidades de soporte de entre dos mil y cuatro mil toneladas. Este sistema de aislación basal permite a la estructura que ante un movimiento sísmico, tienda a comportarse como un cuerpo rígido, disminuyendo las aceleraciones y deformaciones de esta, entregando a los usuarios una menor percepción del movimiento (mayor confort), así como también evita daños estruc-

turales, no estructurales y en contenidos.

En el caso de ejemplos de obras con disipadores, tenemos el edificio Parque Araucano (2006) que incorporó 2 amortiguadores de masa sintonizada (AMS o TMD en inglés) consiguiendo un efecto dinámico de reducción de las deformaciones relativas del edificio. Esto se logra porque la masa se opone al movimiento del edificio y lo contrarresta parcialmente. Como son dos masas, ambas controlan el fenómeno de torsión. El edificio no solamente toma la vibración en una dirección sino que además se tuerce. Las dos masas se potencian y controlan dos tipos de movimientos: el de traslación y rotación respecto de un eje vertical. En el primero las dos funcionan sincrónicamente, y en el segundo actúan de forma opuesta, neutralizándose para reducir esta rotación. Las dos masas (ubicadas en los pisos 21 y 22), cuelgan de la estructura mediante tensores, cuyos períodos de oscilación se ajustan. Otro ejemplo es el edificio Titanium La Portada, de 52 niveles, que incorpora, cada

Solución Integral en Entibaciones Metálicas

- Sistemas de cajones KS-60 (Para bajas profundidades)
- Sistemas de cajones KS-100
- Sistemas con guías deslizantes:
 - Sistema corredera (4-6 metros)
 - Sistema paralelo (5-8 metros)

Sistema esquinero para pozos, cámaras y plantas elevadoras

**RAPIDEZ
SEGURIDAD
EFECTIVIDAD**

Casa Matriz
Flor de Azucenas 42 OF. 21 - Las Condes
Fono: (56 2) 2241 3000 - 2745 5424

Guillermo Schrebler
gshrebler@krings.cl

www.krings.cl

tres pisos, disipadores de energía sísmica, los cuales funcionan como amortiguadores, reduciendo las deformaciones del edificio hasta en un 40% en caso de sismo. El objetivo de estos disipadores es reducir la demanda de deformación y esfuerzos, mediante el aumento del amortiguamiento estructural.

CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

Luego del 27-F se ha mejorado la normativa en tres aspectos fundamentales: las exigencias de armaduras mínimas para muros de hormigón armado, la clasificación de suelos y las disposiciones de diseño para elementos no-estructurales (ascensores, tabiquerías, cielos falsos, equipos eléctricos y mecánicos, mobiliario, etcétera). Respecto a este último aspecto se elaboró la norma NCh3357: Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales, vigente desde abril de 2015. "Actualmente hay dos comisiones encargadas de proponer modificaciones a las normas de diseño sísmico: una dedicada a la norma NCh433: Diseño sísmico de edificios y otra a la norma NCh2369: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales", señala Sarrazín.

En el caso de esta última norma, se están introduciendo modificaciones respecto a la disipación, a efecto de permitir o facilitar el uso de sistemas como diagonales de pandeo restringido, que si bien no son disipadores de energía, permiten hacerlo por la fluencia controlada de una diagonal de acero. "Es un sistema utilizado comúnmente en Estados Unidos y Japón. Su gracia es que no se pandean y permiten mantener la operación de la infraestructura después de eventos sísmicos severos. Es un sistema bastante adecuado para las estructuras chilenas, que se está incorporando en nuestra normativa", cuenta Retamales. El ingeniero agrega que recientemente entró al INN la norma de disipación de energía, que va a permitir usar disipadores para el diseño de infraestructura residencial, comercial, oficinas, etc. "Esa norma también va a intentar se consigan economías, en el sentido que si uso disipación, los beneficios de incorporar esos dispositivos se podrían traducir en reducciones de esfuerzos de diseño, resultando en mayor seguridad y economía para los inversionistas y propietarios", explica.

La experiencia de los últimos años, indica además que debe haber una preocupación por el efecto destructivo de las olas producidas por los terremotos (tsunamis) que han

CONCLUSIONES

 Se entiende por sistemas de protección sísmica a métodos innovadores, como la aislación en la base, los dispositivos de disipación de energía que se incorporan a la estructura o los sistemas de masas sintonizadas, que buscan mejorar la respuesta de las edificaciones ante fuertes movimientos telúricos ya sea en cuanto a continuidad de operación como a confort para los usuarios.

 **La aislación sísmica consiste esencialmente en modificar el periodo natural de la estructura, aumentándolo, mediante la adición de elementos flexibles entre la estructura y la fundación. Estos sistemas filtran el movimiento reduciendo las vibraciones que penetran a la estructura, evitando así daños en esta. Su efectividad puede alcanzar hasta un 70 a 80 por ciento**

 Por su parte, los disipadores de energía apuntan a disminuir por distintos medios la energía vibratoria introducida a la estructura por el movimiento sísmico. Hay distintas formas como la fluencia de metales, la fricción, la disipación viscosa y viscoelástica. En las estructuras, los disipadores son colocados entre dos puntos que sufren una deformación relativa, aprovechándola para realizar un trabajo mecánico. La disipación de energía en estos sistemas reduce la acumulación de la demanda sobre la estructura, protegiéndola del daño sísmico.

sido devastadores a lo largo de la costa. "Para el diseño de estructuras en zonas inundables se elaboró una norma. Sin embargo, lo adecuado es no construir en zonas inundables, a no ser que sea imprescindible, como es el caso de estructuras marítimas. En general, en nuestro país hay terrenos con suficiente altura a corta distancia del mar, que no serían alcanzables por el agua de un maremoto y en los cuales sería recomendable construir para evitar la destrucción proveniente de estos", detalla Sarrazín, agregando que lo anterior no ocurre en otros países sísmicos, como Japón, Indonesia o Tailandia. "Es conveniente que las autoridades definan las zonas inundables y se prohíba la construcción de viviendas o edificios comerciales en ellas", señala el ingeniero.

En cuanto a una visión de futuro sobre la protección sísmica en el país, los expertos comentan que el diseño sísmico se está orientando hacia el diseño por desempeño. "La población está exigiendo un mejor comportamiento de las edificaciones, con menor nivel de daños, de manera que se puedan volver a habitar en un plazo breve. En el caso de obras públicas o industrias críticas, el concepto a emplear es de "continuidad de operación", dice Sarrazín.

Por otra parte, muchos de los daños que se aprecian en las estructuras son por defectos constructivos, por lo que, en consecuencia, debe mejorarse la calidad de la construcción

con un mayor control e inspección. Otros aspectos a desarrollar son la protección contra los tsunamis y la organización social para responder en forma adecuada ante catástrofes.

El ingeniero Retamales también cree que aún falta madurar la norma chilena de disipación de energía. "Tenemos en Chile estructuras con aislación sísmica y disipadores de energía instrumentadas. Hay muchos datos e información que se ha generado durante los eventos sísmicos recientes", indica.

Finalmente, los expertos consultados coinciden en que al igual que en otros países sísmicos, Chile debe avanzar fuertemente en masificar el uso de estas tecnologías. "Se debe apuntar a que no solo los hospitales cuenten con sistemas modernos de protección sísmica, sino que también la comunidad, y en especial que los más necesitados puedan optar a vivir en edificios que desarrollen un desempeño sísmico óptimo. Se requiere que tanto la empresa privada como el Estado, se convenzan que resulta mucho más eficiente invertir en soluciones que minimicen los eventuales daños que pagar los enormes costos de paralización, reparación y reconstrucción", señala Vial.

La protección sísmica es un tema que se ha instalado con firmeza en la construcción e ingeniería del país, donde se busca seguir investigando e innovando en una materia que al igual que nuestra tierra, se encuentra en constante movimiento. ■