

## ANTECEDENTES GENERALES SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

### I. ANTECEDENTES

Los recientes terremotos ocurridos en Chile (2010) y Japón (2011) han dejado de manifiesto la alta vulnerabilidad sísmica de las estructuras y de sus contenidos. En el caso de Chile, no pocos son los casos de estructuras que, sin presentar daños 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 una sensación de insatisfacción por su percepción del movimiento fuerte. Si bien es preciso reconocer el excelente desempeño estructural de las edificaciones, no se puede concluir lo mismo en materia de protección de función, protección de contenidos y percepción de la población. Por estas razones, resulta necesario promover el uso de tecnologías, probadas a nivel 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 solicitaciones de servicio, como las provenientes de las cargas propias del uso del edificio y de fenómenos naturales. Entre estos últimos, las mayores demandas o solicitaciones 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 interacción entre el suelo y las fundaciones, en el daño de elementos

estructurales tales como muros, vigas, columnas, encuentros viga-columna, conexiones, y en la interacción entre el sistema estructural y sistemas no estructurales, principalmente tabiques.

En conformidad con la normativa chilena vigente, NCh433.Of96.Mod2009, 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 severa, salvaguardando la vida de sus ocupantes. Esta filosofía de diseño no se ha orientado 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 y/o estratégicas el objetivo de desempeño de la norma de prevenir el colapso estructural suele no ser suficiente, ya que se requiere que la estructura continúe operando durante e 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 aplicando técnicas de diseño por desempeño y/o implementando sistemas de protección sísmica en las estructuras, tales como aislación sísmica y disipación de energía.

El diseño sísmico 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 cierto grado

de daño y/o deterioro 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 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 actúan reflejando la energía del suelo, impidiendo que esta ingrese a la estructura, previniendo el daño estructural y no estructural. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, que 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 substancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura. El uso de disipadores de energía reduce la respuesta estructural, reduciendo el daño de componentes estructurales y no estructurales.

**II. CONDICIÓN SÍSMICA NACIONAL**

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo, en promedio se produce un sismo con magnitud mayor o igual a 8 cada 10 años en algún lugar del territorio nacional. De los quince terremotos más destructivos registrados a nivel mundial desde 1900, tres de ellos han ocurrido en Chile.

La condición sísmica de Chile se debe a que se ubica en la llamada zona del cinturón de fuego del Pacífico, específicamente contiguo al encuentro entre la placa de Nazca, subplaca de la del Pacífico, y la placa Sudamericana. La placa de Nazca se mueve bajo la placa Sudamericana 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.

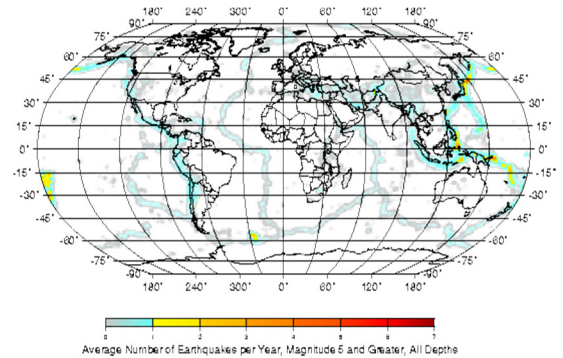


Ilustración 1. Condición sísmica según geografía

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 de Hacienda, el costo de esta catástrofe fue de \$30.000 millones de dólares, equivalente al 15% del producto interno bruto del año 2010. De estas pérdidas, US\$21.000 millones corresponden a pérdidas en infraestructura, mientras que US\$9.000 millones 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 públicas.

Las pérdidas humanas del terremoto del Maule de febrero del 2010 alcanzaron las 763 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 en estructuras con diseño sismorresistente fue considerablemente menor.

Como referencia. Se puede mencionar que el terremoto de Lolleo de 1985 dejó pérdidas evaluadas en \$1.046 millones de dólares, de los cuales el 73% correspondieron al sector privado. Aquel terremoto dejó un total de 177 muertos.

**III. EXPERIENCIA NACIONAL E INTERNACIONAL**

Procedimientos para el análisis y diseño de edificios y puentes para cargas sísmicas han existido en el mundo por cerca de 80 años. 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 EEUU. Sin embargo, el código no prescribía requerimientos de diseño. Los requerimientos de diseño se incorporaron en el código de 1930, los que establecían que los edificios debían ser diseñados para resistir una fuerza horizontal  $F$  aplicada en cada nivel, definida como  $F=CW$ , donde  $C$  es un coeficiente sísmico y  $W$  es el peso muerto más la carga viva ubicada sobre el nivel considerado.

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.

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 la tecnología de protección sísmica. Los sistemas de protección sísmica presentaron su mayor auge luego de los terremotos de Northridge (EEUU) en 1994 y Kobe (Japón) en 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.

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, se encuentra ubicado en el conjunto habitacional de la Comunidad Andalucía. Posteriormente, un sinnúmero de estructuras con sistemas de protección sísmica han sido construidas, entre los que destacan el viaducto Marga-Marga, el puente

Amolanas, el Nuevo Hospital Militar La Reina, la Torre Titanium, entre muchos otros.



Ilustración 2. Torre Titanium Santiago de Chile



Ilustración 3. Torre Titanium Santiago de Chile



Ilustración 4. Hospital Militar Santiago de Chile

#### IV. PROYECCIONES

Se espera que luego de los terremotos de Chile en febrero del 2010 y del ocurrido en marzo del presente año en Japón se genere un nuevo auge, al igual que lo ocurrido en la década de 1990 con los terremotos de Northridge y Kobe, en 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, se encuentran en revisión la normativa para diseño sísmico de edificaciones con aislación sísmica y en desarrollo la normativa para el diseño sísmico de edificaciones con aislación sísmica. Ambos documentos se encuentran basados en las exigencias del código ASCE 7-10 (ASCE/SEI, 2010) de los EEUU.

Junto a lo anterior, el sector construcción, así como mandantes y público en general, han requerido mayor información e instancias de capacitación en el ámbito de sistemas de protección sísmica. La Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción, se encuentra liderando un “Programa de Difusión Tecnológica” apoyado por INNOVA CHILE de CORFO, el que tiene como objetivo central difundir y promover el uso de este tipo de tecnologías en nuevos proyectos de construcción.

Cabe destacar, que hasta la fecha, el uso de sistemas de protección sísmica se ha limitado principalmente a edificaciones estratégicas o de alta complejidad, sin embargo, y como consecuencia del terremoto de 2010, hoy se comienzan a evaluar el uso de este tipo de dispositivos en edificaciones de vivienda privada, obras civiles y viales, e incluso vivienda social. De este modo, existen amplias proyecciones de crecimiento y masificación en el uso de estas tecnologías.