

— Desde el inolvidable 27 de febrero de 2010, día en que la Tierra se sacudió con una magnitud de 8,8° Richter, ya ha pasado una década y el sector no ha perdido tiempo, integrando diversos cambios normativos que incluyen mejoras en el diseño sísmico y en la calidad de la construcción junto en el avance en uso de nuevas tecnologías. Han sido años de aprendizajes para mejorar el cómo construir.

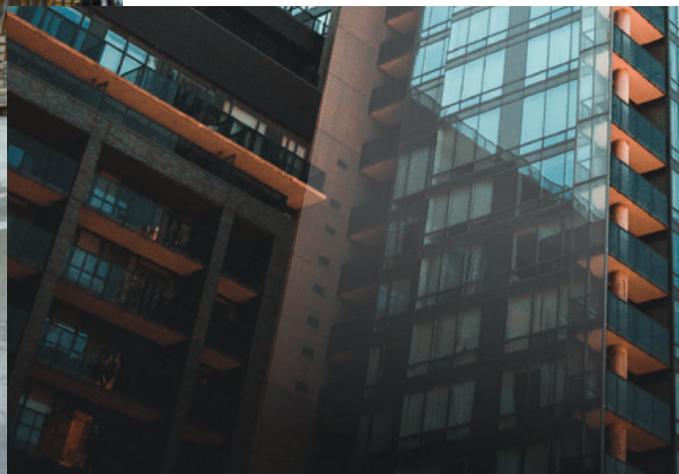
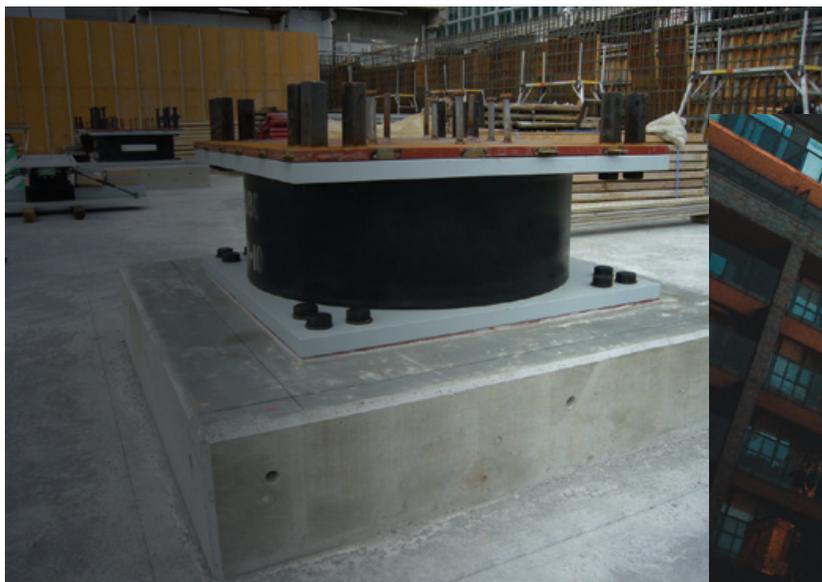
A DIEZ AÑOS DEL 27F

AVANCES Y MEJORAS EN EL SECTOR

ALFREDO SAAVEDRA L.
PERIODISTA REVISTA BIT

POCOS SON LOS DÍAS que quedan tan marcados en la memoria colectiva de una sociedad, como el 27 de febrero de 2010. Y es que hace ya una década atrás sucedió el llamado 27F: uno de los terremotos más grandes de la historia, con una magnitud de 8,8 grados en la escala de Richter y una duración de casi tres minutos, que tuvo su epicentro en la región del Biobío. Si bien, en términos generales, el sector construcción y las diversas estructuras respondieron de forma adecuada, la industria no se ha quedado tranquila. Y es que durante los últimos diez años ha habido avances en cuanto a metodologías, tecnologías y modificaciones normativas, entre otros, que responden a lecciones aprendidas tras aquel inolvidable 27F.





La tecnología de protección sísmica es parte de los aprendizajes que se han ido integrando a las construcciones post 27F. Destacan los aisladores elastoméricos (imagen referencial), de péndulo friccional, amortiguadores viscosos, entre otros”.

CAMBIOS NORMATIVOS EN EDIFICACIÓN

Si bien es importante señalar que tras el terremoto la mayor parte de los edificios no presentaron daños estructurales severos, el registro instrumental junto a observaciones de los daños, motivaron un cambio en la Norma Sísmica NCh433 que, en su versión de 2012 incorporó la necesidad de mejorar la caracterización de los depósitos de suelos, para considerar sus potenciales efectos en el diseño de edificios, ante solicitudes sísmicas de grandes terremotos. A su vez, se conoció mejor el efecto de la calidad del suelo en la amplificación del sismo que afecta a los edificios y hubo aumentos en las solicitudes y desplazamientos provenientes del sismo de diseño, incluyendo mayores exigencias al diseño de los muros estructurales, limitando la compresión máxima que pueden resistir. Respecto de la clasificación de suelos, los expertos consultados señalan que fue una de las modificaciones más relevantes en su minuto, ya que, en la práctica, significó que algunas estructuras clasificadas en Suelo Tipo 2, con bajas demandas, fueran clasifica-

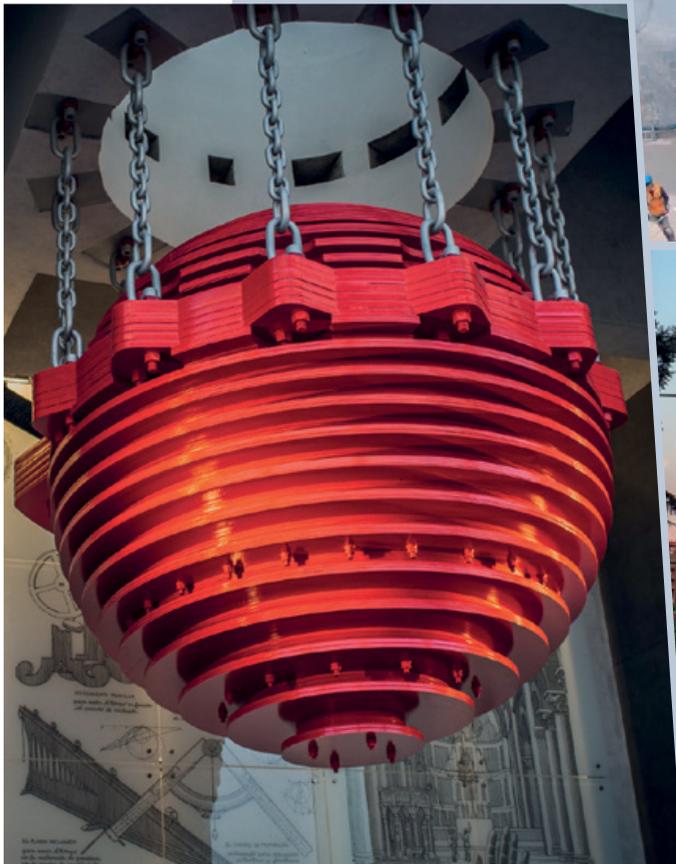
das en Suelo Tipo 3, lo que significaba que, el mismo edificio, en el mismo lugar, aumentaba su demanda en relación a la norma del 2009. “Los aspectos más importantes que se han incorporado relacionado a esto, fueron el aumento en la profundidad de la exploración geotécnica y las variables a estudiar, siendo una de las más críticas, la estimación de la velocidad de onda de corte en los 30 metros superiores (V_{s30}) y la relación de este parámetro con otro particular del tipo de suelo. Con esto se selecciona el espectro de diseño”, señala Rubén Boroschek, Gerente de RBA-Global y profesor titular de la Universidad de Chile, agregando que a esto se suma recientemente la medición experimental del período de suelo a partir de estudio de las vibraciones ambientales superficiales. “Hoy lo estamos aplicando a todos los suelos, pero principalmente a suelos Tipo D, E y F. La demanda sísmica cambia severamente entre tipos de suelo. Tenemos ahora seis divisiones (antes eran solo 4). Ahora los suelos E requieren del desarrollo de espectro de desplazamientos, mientras que los suelos F, de un estudio de amenaza completo que incluye un espectro de diseño tanto de aceleración como desplazamiento”, explica el profesor, agregando que en la práctica, esto es muy solicitado y se está realizando permanentemente. “La licuefacción de suelos ha tomado la importancia que siempre debió haber tenido y ya es poco probable que se ignore en los diseños”, puntualiza.

Otros cambios significativos se produjeron en la definición y cálculo de la demanda sísmica. Según explica el académico, el

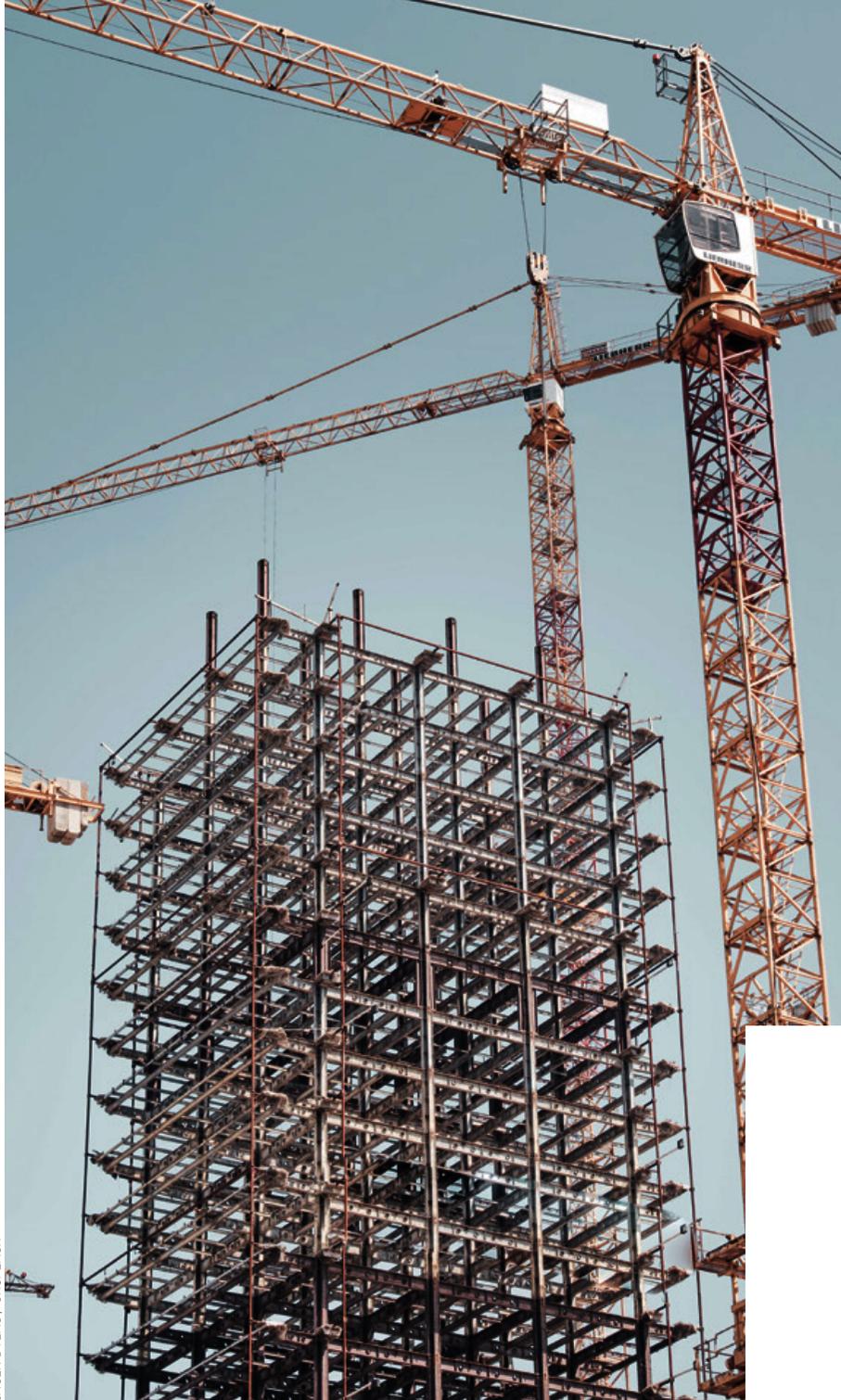
espectro y sus límites sufrieron modificaciones fuertes para lograr capturar, aunque fuese parcialmente, las mayores demandas observadas en suelos relativamente blandos, como los de Viña del Mar y en particular los de Concepción. “Esta modificación en la demanda sísmica, espectro y cortante mínimo y máximo, requirió un cambio sustancial en la clasificación geotécnica, tanto la profundidad de exploración requerida, como los parámetros a ser utilizados. Ahora debemos, en la mayoría de los casos, tener sondajes e información hasta 30 metros de profundidad como mínimo y efectuar la determinación directa o indirecta de la velocidad de onda de corte en los estratos de suelo”, indica Boroschek agregando que esto es una mejora sustancial, pues elimina una parte importante de los errores de clasificación que presentaba la norma previa a 2010. “Adicionalmente, ahora estamos aprobando la incorporación de la medición del período de vibrar de los suelos, lo que permite capturar el fenómeno de amplificación de mejor

manera”, detalla. Así, ante la existencia de suelos o condiciones topográficas de mayor complejidad, también es posible contar con estudios de amenaza sísmica, enfocados a obtener una sollicitación sísmica específica para la ubicación geográfica del proyecto, las propiedades del suelo y topográficas del lugar. “Esto se realiza por medio de métodos probabilísticos y/o determinísticos, que sumados a modelos geofísicos de propagación de ondas pueden estimar de mejor manera el comportamiento del suelo para condiciones especiales no cubiertas por los casos generales de las normas”, detalla Ignacio Vial, gerente general de SIRVE S.A.

Por su parte, en el apartado de diseño, hubo cambios importantes que contribuyen a disminuir el daño observado durante el 27F en los muros estructurales. Para esto se estableció la norma de referencia para el diseño del hormigón armado ACI 318 y con ello aspectos de espesores mínimos y detallamiento del refuerzo estructural. En una breve cronología, Leonardo Massone, profesor asociado del Departamento de Ingeniería civil de la Universidad de Chile explica que, por un lado, las demandas de desplazamiento de te-



El péndulo del edificio corporativo de la CChC es un hito tecnológico en cuanto a sistemas de protección sísmica. El Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS), busca contrarrestar los efectos del sismo en la obra.



JACEK-DYLAG / UNSPLASH



Los desafíos para el sector Construcción estarán en alcanzar el menor daño posible, idealmente cero, en las estructuras para dar mayor seguridad al usuario. Constantes revisiones normativas y nuevas tecnologías, son el camino a seguir.



chos esperadas para los edificios estaban subestimadas. Así, se hicieron cambios en la NCh433 junto a las ya mencionadas modificaciones en la clasificación de suelos, lo que afectaba el diseño de las estructuras de hormigón armado y eso se tradujo en que ambas NCh430 y 433 se modificaran el 2011, dando paso a los decretos 60 y 61 que son los que permitieron hacer las modificaciones necesarias para incorporar las cosas nuevas, tales como los cambios en los requerimientos de confinamiento y otros adicionales como cuidar tener muros muy esbeltos para evitar tandeo global del muro, entre otros. “Se limitaron las máximas compresiones en el borde más comprimido del muro, limitando, de forma indirecta, las cargas axiales. Así, además de confinar, esta limitación se tradujo, desde el punto de vista numérico y del análisis del diseño, en que terminamos colocando cotas para evitar ese tipo de problemas”, comenta Massone, agregando que en los últimos diez años, se ha avanzado en



RELACIONADO:
“APLICACIÓN DECRETOS
NCH 433 Y NCH430.
LOS PRIMEROS ALCANCES”

mejoras gracias a trabajos analíticos y experimentales desarrollados por las universidades. En el caso de la NCh430, el profesor cuenta hay un borrador donde se incorporan nuevas cosas, en línea con los cambios que ha tenido la norma ACI 318 en 2019. “Otra modificación a la NCh430, además del requerimiento de 0,8%, es que, como requisito adicional, también estamos limitando al 3% las deformaciones máximas de tracción que tenga el refuerzo en la zona crítica para así evitar que grandes elongaciones y después compresiones importantes se traduzcan en problemas de pandeo al refuerzo”, adelanta.

Otros cambios que se están estudiando incluyen: la cantidad mínima de armadura que debería tener un elemento de borde (en la armadura longitudinal), algunas limitaciones a las expresiones usadas para determinar los desplazamientos de techo de los muros cuando se incorpora la componente elástica y cambio con el diseño al corte, ya que la ACI incorpora un diseño por capacidad y amplificación dinámica que no estaba en la normativa chilena, entre otros detalles.

“Parte de estos cambios reflejados en los Decretos Supremos 60 y 61 de 2011 ya han sido incorporados para una próxima versión de la NCh433 que está en proceso de aprobación en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu)”, señala Boroschek, haciendo referencia a una nueva actualización en la que se trabaja para este o el próximo año.

NORMA DE AISLACIÓN SÍSMICA Y TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN

La norma de aislación sísmica NCh2745, que ajusta aspectos de demanda sísmica y clasificación geotécnica, también contó con modificaciones en este tiempo, buscando hacer las estructuras más seguras. Adicionalmente, se desarrolló una mejora sustancial para la protección de los contenidos a través de una norma (NCh3357) para el diseño de componentes y sistemas no estructurales. “En esta se dan indicaciones para el diseño de elementos secundarios en las estructuras, como por ejemplo los cielos falsos, tabiques”, detalla Leopoldo Breschi, ingeniero civil y presidente del directorio de VMB Ingeniería Estructural, agregando que también se redactó y publicó la norma de disipación de energía, NCh3411, que guarda relación con elementos pasivos de disipación de energía tales como amortiguadores viscosos, friccionales y metálicos.

En el año 2017 el Instituto Nacional de Normalización (INN) publicó la nueva norma para el diseño Sísmico de Edificios con sistemas pasivos de disipación de energía. “Así, hoy, a pesar que no son obligatorias, contamos con todo el marco legal y técnico para desarrollar proyectos que contemplan una gran gama de soluciones de protección sísmica y control de vibraciones”, explica Vial, agregando que el gran desafío y avance de estas tecnologías ha estado enfocado en dos ámbitos: por un lado, el desarrollo de nuevos materiales y compuestos que permitan generar mejores desempeños de las estructuras, su contenido y equipamiento, y por otra parte, soluciones más económicas y simples que permitan masificar su uso.

Otras normas nuevas que se desarrollaron en estos años incluyen el diseño para mitigar los efectos de los maremotos, para la protección de ascensores (NCh3362) y de infraestructura crítica (NCh3359), entre otras. “La gran pérdida económica, asociada al



daño directo y a la paralización de operaciones, ha llevado a varios inversionistas y usuarios a requerir que se controlen los tiempos máximos de paralización y costos de recuperación acorde a los objetivos definidos por los propietarios y el desempeño esperado del sistema. Esto es muy aplicado en hospitales, oficinas institucionales y de arriendo, centros críticos de control, datos e información, entre otros”, agrega Boroscchek.

Así, con una normativa en constante avance, la tecnología relativa a protección sísmica también ha ido ganando espacio en el sector durante la última década. Por una parte, la aislación sísmica consiste en limitar el ingreso de energía (esfuerzos y vibraciones) en una estructura, incorporando una interfaz de muy baja rigidez. Según explica Breschi, una estructura frente a un terremoto puede verse como una inecuación en que la relación entre la demanda (terremoto) y la oferta (estructura) sea siempre menor. “Para mantener esta desigualdad se puede disminuir la demanda (terremo-

to) o aumentar la oferta (capacidad de la estructura). Precisamente, un aislador sísmico lo que hace es disminuir la demanda. Son elementos que en general se ponen en la interface estructura-suelo y “aislan” la estructura del sismo”, detalla, agregando que hay tecnologías de aisladores de goma y péndulo friccional.

“La aplicación de aislación sísmica en general es para el aislamiento de vibraciones horizontales, pero también existen sistemas para aislar la vibración sísmica vertical y la combinación de ambas”, explica Boroscchek, señalando que si bien la aislación es el sistema más efectivo, porque no “entra” el sismo en la estructura, no siempre se puede aplicar. Para esos casos hay una segunda tecnología denominada de disipación de energía, que consiste en concentrar el daño en elementos preestablecidos, de bajo costo, de fácil reemplazo o no dañables. “En general estos mecanismos son dispositivos pre-



Debido a la ubicación geográfica del país, los sismos son y serán una constante en nuestro territorio. Es por eso que diversas normativas como la NCh430 y NCh433 están bajo continuos estudios, mejoras y actualizaciones.

viamente definidos, de fácil instalación, mantenimiento y reemplazo. Los más efectivos y comunes son los sistemas de plastificación de metales como diagonales no pandeables y también los hay friccionales”, detalla Boroschek.

La ingeniería estructural también ha ido aumentando la oferta de soluciones, generando la disipación de energía a través de elementos mecánicos especialmente diseñados para ello, como platinas de acero que se posicionan en lugares específicas de alto movimiento. “Estas se deforman y por ende disipan energía por calentamiento de estos elementos, o mejor aún, incorporando amortiguadores viscosos (muy similares a los que utiliza un automóvil) que además de disipar por calor, aumentan el amortiguamiento global de la estructura y por ende bajan también la demanda”, detalla Breschi. El ingeniero cuenta que otra tecnología que se está usando para el control del terremoto de forma pionera en Chile, es el Tuned Mass Damper o TMD por sus siglas en inglés. “Esta tecnología es la que se utilizó en el edificio institucional de la Cámara Chilena de la Construcción (ver reportaje en Hito Tecnológico), consiste en modificar el movimiento del edificio, usando el concepto de resonancia”, explica Breschi.

Adicionalmente a estas tecnologías, también se encuentran los sistemas de monitoreo en línea (monitoreo del estado de salud estructural), que permiten detectar si ha ocurrido daño y su ubicación, para que se pueda realizar una inspección más rápida y efectiva (un edificio con terminaciones de alto costo no requiere la remoción de estos elementos para la inspección de la estructura, el sistema indica donde puede estar ubicado el daño). “Estamos logrando controlar muy bien el daño

en el sistema estructural primario. El riesgo de pérdidas de vidas es muy bajo. Los números indican que somos prácticamente los mejores a nivel mundial. Y los nuevos avances en la protección de contenidos están orientados a disminuir las paralizaciones, interrupciones de servicios y pérdidas de inversión”, cuenta Boroschek, agregando que hacia esto apunta el diseño por desempeño que se promueve en la NCh433 y las normas de aislación sísmica NCh2745, disipación de energía NCh3411 y protección no estructural NCh3357.

APRENDIZAJES RELACIONADOS Y MITIGACIÓN DE EVENTOS

Si bien los avances en el sector han ido de la mano de modificaciones normativas y uso de tecnologías, hay otras lecciones aprendidas tras tamaña catástrofe, que tienen que ver con cambios conductuales, institucionales y de prevención. A modo de ejemplo para esto último, un caso emblemático fue el proceso de reconstrucción de la localidad de Dichato, donde las nuevas casas y construcciones ubicadas cerca de la playa contaron con una mejor planificación del entorno en cuanto a incluir vías de evacuación y obras de mitigación ante nuevos desbordes del mar, como por ejemplo plazas, parques y muros de contención ubicados en las zonas costeras, que evitan, al menos por un tiempo, el paso del agua en caso de tsunami. También hay una mayor comprensión social de lo que significa este fenómeno marino e instituciones como la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) han mejorado y profesionalizado continuamente sus capacidades técnicas y de gestión. Asimismo, ha habido mejoras en los sistemas de alerta temprana y de comunicaciones y con el uso de la tecnología moderna.

GRUPOS DE TRABAJO IC Y OTRAS NORMAS TÉCNICAS

Luego del 27F, el Instituto de la Construcción (IC) tuvo la tarea de colaborar, a través de diversos grupos de trabajo con iniciativas post terremoto, destacándose entre ellas un documento de 30 propuestas, la elaboración de propuestas de DS que reemplazaron a los DS117 y 118 (encargo hecho por el Minvu), Decreto Supremo DS 60, Reglamento que fija los requisitos de Diseño y Cálculo para el Hormigón Armado y deroga el DS N° 118, Decreto Supremo DS 61, Reglamento que fija el Diseño Sísmico de Edificios y deroga Decreto 117 y la elaboración de 7 Normas Técnicas Minvu, también encargadas por ese ministerio. Según detalla José Pedro Campos, director ejecutivo del IC, la mayoría de esas normas fueron posteriormente aprobadas como Normas Técnicas NCh, según el siguiente cuadro:

NTM 1	Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales	NCh 3357:2015	Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales
NTM 2	Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra	NCh3332:2013	Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos del proyecto estructural
NTM 3	Edificaciones estratégicas y de servicio comunitario	NCh3359:2015	Requisitos para edificaciones estratégicas y de servicio comunitario
NTM6	Requisitos mínimos de diseño, instalación y operación para ascensores electromecánicos frente a sismos	NCh3362:2014	Requisitos mínimos de diseño, instalación y operación para ascensores electromecánicos frente a sismos (MINVU)
NTM 7	Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche	NCh3363:2015	Diseño estructural - Edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche

DESAFÍOS A FUTURO

Debido a que Chile se ubica en el cinturón de fuego del Pacífico, los sismos y terremotos serán un fenómeno permanente y por tal motivo el sector está en una constante búsqueda de mejoras. “Así como fue post 2010, próximamente vendrá un proceso de ajuste y revisión del diseño y cambios en consideraciones de valores que estamos tomando en cuenta para estas modificaciones”, cuenta Massone, agregando que a largo plazo, son las nuevas tecnologías las que seguirán tomando un rol relevante, gracias a los sistemas de aislación y el uso de nuevos materiales, como hormigones de alto rendimiento, entre otros. En esa línea, Vial comenta que se ha estado trabajando fuertemente en el tema de la resiliencia sísmica, la cual permite cuantificar el nivel de seguridad y desempeño sísmico de los edificios considerando, no solo los componentes de la obra gruesa (por ejemplo hormigón), sino que también todos los elementos no estructurales y arquitectónicos. “Estamos trabajando en conjunto con otras instituciones chilenas y extranjeras para incorporar un sello de calidad que permita conocer de manera simple el desempeño sísmico de los edificios en cuanto a pérdidas económicas y tiempo de recuperación (downtime), luego de ocurrido un terremoto”, explica el gerente de SIRVE S.A., agregando que esto permitirá que la gente cuente con información fidedigna y simple para cono-



RELACIONADO:
“APLICACIÓN D.S. 60 Y 61:
NUEVAS EXIGENCIAS”

cer la seguridad sísmica de la construcción.

Precisamente, lo que se seguirá buscando va en la dirección de no sentir el terremoto, limitar el daño a lo mínimo o que si este ocurre, sea visible, previsible, de bajo costo de reparación y de fácil reemplazo, sin detenciones operacionales. “Las herramientas están en el uso de sistemas de protección sísmica adicionales, pero también en el desarrollo de infraestructura inteligente. Sistemas que detectan las vibraciones, detectan daño e incluso son capaces de modificarse para disminuir los efectos de sismos”, detalla Boroschek.

En la misma línea, Breschi comenta que



también es importante que el sector y sus profesionales, sigan empujando este aspecto. “Ha sido el sector público el que ha mantenido el auge en la obligatoriedad de usar, por ejemplo, tecnologías de aislación en los hospitales públicos, sin embargo, como contrasentido, en muchos casos no permite en sus bases de licitación el uso de tecnologías aún mejores, como, por ejemplo la goma de alto amortiguamiento o el uso de prefabricados”, reflexiona el ingeniero, agregando que por tal motivo es muy importante que entidades como la CChC y la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) sean fuertes impulsores de esto, ya que estas tecnologías permiten estructuras mejores y a la vez más económicas. “Para lograr ello, la industria debe inmiscuirse más en el desarrollo de investigaciones y por ende en la normativa. Yo diría que ese es el mayor desafío hoy: transformarnos en referente normativo de nuestra industria a nivel mundial en países de alta sismicidad y no ser imitadores”, señala.

Diez años han pasado desde uno de los terremotos más poderosos de la historia y el sector ha sabido trabajar para mejorar la respuesta frente al siguiente. Porque si una cosa es segura, es que habrá un nuevo desafío y la industria estará lista para seguir aprendiendo. ■

CONCLUSIONES

Luego del 27F se realizaron diversos cambios normativos, incluyendo modificaciones a las NCh430 y 433. Uno de los más relevantes fue el cambio en la clasificación de suelos. Otras modificaciones significativas se produjeron en la definición y cálculo de la demanda sísmica y del diseño de muros, entre otros.

La tecnología relativa a protección sísmica también ha ido ganando espacio en el sector, entre las que se encuentran: la aislación sísmica, disipación de energía y los sistemas de monitoreo en línea, entre otros.

Debido a la ubicación geográfica de Chile, los terremotos serán una constante, por lo que los expertos consultados señalan que el sector debe seguir atento en las actualizaciones normativas, fomentar el uso de más tecnología en el sector y desarrollar estructura inteligente. Todo con el objetivo de avanzar hacia un daño mínimo.