

Terremoto de Iquique

Lecciones en movimiento

El último sismo en el norte del país se transforma en una oportunidad de aprendizaje, para detectar falencias y abordar los grandes desafíos que los movimientos telúricos plantean a la construcción. En esta ocasión las enseñanzas se concentran en el uso de materiales adecuados para zonas vulnerables, reforzar elementos no estructurales, actualizar la normativa e invertir en investigación antisísmica.



Claudia Ramírez F. y Marcelo Casares Z.
Revista BiT

Cuando pasa el temblor no sólo queda una estela de daños en los bienes materiales y el pavor en la población. Entre el polvo y el desánimo emerge una serie de lecciones sobre los efectos que pudieron atenuarse, las precauciones que no se tomaron, los errores cometidos y las inversiones adicionales que no se hicieron por ajustarse al presupuesto.

El aprendizaje es indispensable porque los resultados están a la vista: Colapso de gran parte de las viviendas en los pueblos al interior de la Región de Tarapacá, numerosos daños en elementos no estructurales de edificios en la ciudad, y el derrumbe de cierres perimetrales en casas intervenidas sin asesoría técnica. Todo esto, a causa del movimiento sísmico de Magnitud 7.9, que el 13 de junio de este año afectó al norte de nuestro país.

Sin encender demasiadas alertas, los especialistas sacan conclusiones como la necesidad del cálculo de diversas estructuras, la utilización de materiales apropiados para zonas sísmicas, la adecuación de una normativa para distintos tipos de sismos, y mayor inversión en investigación que permita el desarrollo de diseños antisísmicos más apropiados.

DAÑOS EN CIERRES PERIMETRALES.

Los elementos no estructurales no asegurados sufren serios deterioros durante un sismo, en particular los cierres perimetrales intervenidos sin asesoría técnica.

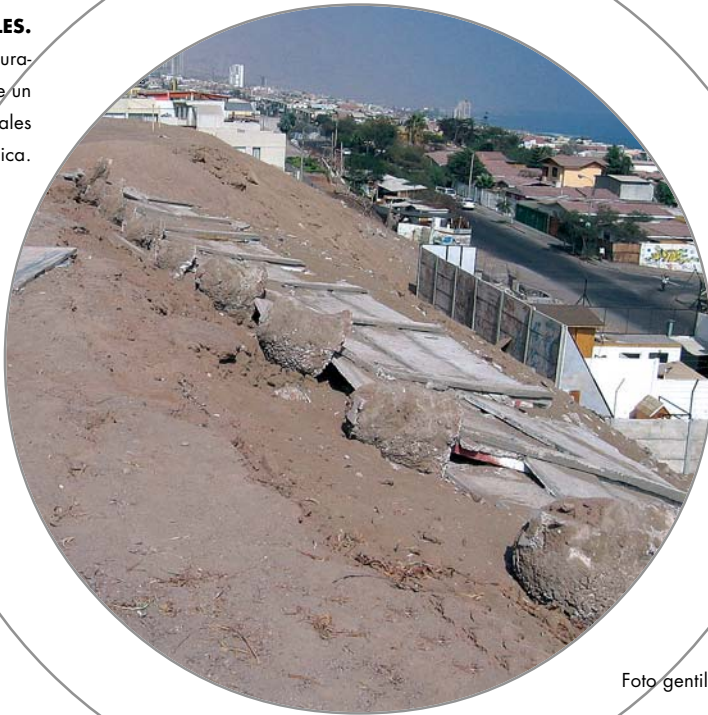


Foto gentileza Rubén Boroschek

Primera lección: Capacitar al usuario

La intervención de los usuarios sobre sus viviendas puede perjudicar las propiedades estructurales de la construcción y aumentar la vulnerabilidad frente a un sismo. Entre las alteraciones más comunes en los lugares afectados por el terremoto están aumentar la altura de los cierres perimetrales, eliminar el terreno lateral a las fundaciones, y construir jardines y piscinas sin asesoramiento profesional.

En Iquique se produjeron problemas debido a la intervención de las viviendas. Por ejemplo, en dos casas vecinas, una pendiente arriba y otra abajo, el usuario ubicado arriba amplió el muro de contención con elementos de hormigón, y el ubicado pendiente abajo retiró tierra del muro dejando la fundación libre para aumentar la cota de su patio. «Los cierres perimetrales fueron intervenidos sin considerar los planos, aumentando en promedio de 60 a 90 centímetros de altura y ganando en la parte inferior de 50 a 70 centímetros. Con esto quedaron sometidos a esfuerzos de más del doble para el que fueron calculados, en consecuencia se produjeron desplazamientos y deformaciones», explica Gonzalo Santolaya, ingeniero estructural y socio de Gonzalo Santolaya y Cía. Ltda. Ingenieros Consultores.

Las ampliaciones de las casas, abundantes en el sector y en su mayoría hechas sin supervisión técnica, también

tuvieron consecuencias negativas. «Visitamos alrededor de sesenta viviendas y algunas tenían ampliaciones tan grandes como la superficie construida, hechas sin planos y sin la autorización de los ingenieros. Se modificaron estructuras y aumentó la masa sísmica considerablemente, y aunque no hubo derrumbes se produjeron grietas importantes», comenta Santolaya. El presidente del Colegio de Arquitectos, Juan Sabbagh, agrega que se encontraron ampliaciones construidas sin enfierraduras, fijadas con adhesivos, «adosando a las casas una estructura construida sin cálculos, que obviamente no resiste sismos de esta magnitud».

La normativa no exige memorias de cálculo ni evaluaciones de las viviendas tras las ampliaciones, por ello, gran cantidad de usuarios optan por hacerlas sin supervisión técnica. Juan Sabbagh asegura que «este terremoto demostró que la ley del mono (*) fracasó completamente en el caso de las viviendas sociales, porque regularizó las ampliaciones hechas sin apoyo profesional». Para Marcial Baeza ingeniero estructural y presidente de la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA) es un tema de educación. «Se debería capacitar a los usuarios para que tomen conciencia que las ampliaciones requieren estudios. Las casas se construyen considerando la mejor pro-

DETERIOROS EN CIELOS FALSOS. En el mercado hay de tipo antisísmico, pero por costos se prefieren los que carecen de seguridad.

Foto gentileza Rubén Boroschek



CARACTERÍSTICAS DEL SISMO

Sin ser frecuente, el tipo de sismo -intraplaca de profundidad intermedia- que afectó al norte del país ya había sacudido a otras zonas. Aunque los más grandes y recurrentes terremotos en Chile se desarrollan en el área costera donde constantemente se están acoplando las placas de Nazca y Sudamericana, hay eventos del tipo intraplaca que han sido severamente dañinos como el recordado de Chillán en 1939.

El terremoto de Tarapacá se desarrolló al interior de la placa de Nazca, y correspondió a una ruptura a una profundidad intermedia de 114,9 kilómetros.

«Este tipo de terremoto ha sido bastante dañino y tiene la particularidad de que aún estando muy lejos del epicentro sigue siendo destructivo. Su origen es desconocido pues resulta difícil imaginar un proceso de fracturamiento o falla como las que se presentan en la superficie a estas profundidades donde las condiciones de temperatura y presión son muy elevadas y las rocas más dúctiles», explica el sismólogo Jaime Campos.

Tampoco existe demasiada claridad entre los investigadores sobre las razones del severo daño que provocan estos sismos, sólo se sabe que irradian mucha energía a altas frecuencias.

El terremoto del norte registró una Magnitud de 7,9 momento sísmico (Mw), una medida que según los sismólogos permite estimar el tamaño real de un terremoto y que es distinta, por ejemplo, a la Escala de Richter que se utiliza para medir la energía liberada por los sismos.

La Universidad de Chile a través de sus departamentos de Ingeniería Civil y Geofísica posee redes de acelerógrafos que permiten medir las características del movimiento sísmico y son de uso directo en la protección de la infraestructura, es decir, en la reducción del Riesgo Sísmico en Chile. En estos momentos la Red Nacional de Acelerógrafos posee más de 20 estaciones en el Norte de Chile a la espera de los eventos mayores de la zona.

tección mínima por un tema de costos, hay propietarios que hacen ampliaciones como palafitos sin apoyos, o edificios a los que les sacan los antepechos para agrandar las ventanas sin recálculos».

Juan Sabbagh reconoce que en el caso de las casas del norte faltó ir un paso más allá. «El error como proyectista fue dejar que el comportamiento de nuestras edificaciones dependiera de los usuarios, que desconocen el daño que

provocan con una modificación a la estructura. El proyectista debería ser capaz de anticiparse, evaluar la solución que entrega, y advertir el riesgo que encierra cambiar las condiciones estructurales».

Segunda lección: Seguridad de elementos no estructurales

Daños en ascensores, cielos falsos, cañerías, y luminarias, pueden parecer saldos menores frente al derrumbe de un muro y la caída de un techo, pero pueden ocasionar serios accidentes durante un sismo. Rubén Boroschek, académico de la Universidad de Chile y Director de la Red Nacional de Acelerógrafos, es categórico: «Básicamente todos los contenidos de una construcción podrían protegerse sísmicamente, una situación que no se produce por un tema cultural y no porque los elementos de refuerzo sean más costosos».

Un escenario distinto se genera en el sector industrial donde una paralización por daños en los equipos resulta tan grave como una falla en la infraestructura. En el país, por norma, la totalidad de las industrias debe involucrar el diseño antisísmico en equipamiento y contenido, lo que se ha traducido en la aplicación de diversas prácticas.

El terremoto de junio, de tipo intraplaca fue el primero de gran Magnitud registrado en zona epicentral por más de 15 estaciones locales gracias a la Red de Acelerógrafos de la Universidad de Chile. Del análisis de los registros obtenidos en las ciudades de Pica, Iquique, Cuya, Piragua y Arica, entre otras, se determinó que el movimiento se caracterizó por una

alta frecuencia lo que se tradujo en daños moderados sobre los edificios, afectando los elementos de contenido (Ver recuadro «Características del sismo»).

El caso de los ascensores sin protección antisísmica es uno de lo más serios. Un problema común es la separación de los rieles debido al movimiento sísmico. El contrapeso que ayuda a sostener el ascensor (estructura compuesta de lingotes de plomo, hierro u hormigón), puede desplazarse y aplastar la cabina de transporte de pasajeros. En algunas ocasiones los elementos del contrapeso se han desprendido y atraviesan la cabina. Otro problema frecuente consiste en que los equipos tractores, ubicados comúnmente en la sala de máquinas en la parte superior de los ascensores, pueden descarrilarse, inclinarse hacia la cabina e incluso enre-

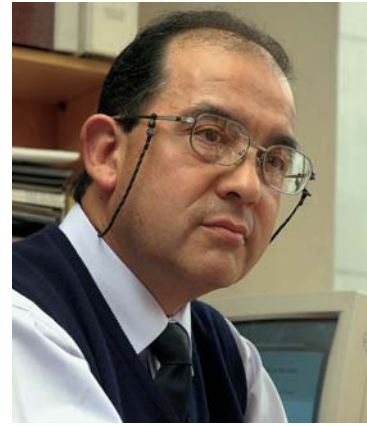
(*) LEY NUM. 19.583: «Regulariza la construcción de bienes raíces urbanos sin recepción definitiva». Los propietarios que hayan construido con o sin permiso de edificación y que no cuenten con recepción definitiva se les otorgó un plazo de dieciocho meses, que con prórroga incluida se extendió hasta el 31 de marzo del 2002, para regularizar su situación de acuerdo a las normas de edificación.



Gonzalo Santolaya, ingeniero estructural.



Rubén Boroschek,
Académico de la Universidad de Chile y
Director de la Red Nacional de Acelerógrafos.



Maximiliano Astroza,
del departamento de Ingeniería Civil
de la Universidad de Chile.

dar los cables y dejar caer algunos metros el ascensor.

La Universidad de Chile realizó una encuesta entre consultores para determinar con qué frecuencia el proveedor solicita diseñar los anclajes, establecer vigas intermedias y otras prácticas antisísmicas. Esto sucede en menos del 10% de los casos. Mientras, los especialistas destacan que los ascensores antisísmicos se encarecen entre un 10 a 20% por presentar distintos aspectos de coordinación y planificación como la ubicación de anclajes, la dimensión de rieles, y el espaciamiento de apoyos (Ver recuadro «Ascensores antisísmicos»).

La escasa demanda de los mandantes por ascensores sísmicos se ve potenciada por la falta de una normativa específica, ya que en el país la regulación no obliga al diseño antisísmico a pesar de que existen regulaciones internacionales sobre el tema.

Así, los resultados de un estudio realizado por Rubén Boroschek reafirman la necesidad de dar una solución al problema. En el reciente terremoto, de 20 ascensores analizados se constataron al menos 12 con daños. Una situación similar se observó en el terremoto del sur de Perú el 2001, ya que en Arica prácticamente todos los ascensores de edificios presentaron daños.

Otro elemento acondicionado para responder frente a los sismos son los muros cortina. Dentro de las modalidades están los del tipo frame, diseñados especialmente para zonas sísmicas. Este sistema está formado por paneles independientes que se cuelgan en anclajes instalados antes de la estructura del edificio.

Los anclajes deben diseñarse de tal manera que permitan regularse en los tres sentidos: Vertical, horizontal y de profundidad para absorber las diferencias que presenta la obra. Cada panel está compuesto de una zona de visión donde se instala el termopanel o doble vidrio hermético, y un área de antepecho que puede estar formado por un cristal termoendurecido con sus respectivos aislantes para evitar la condensación. «La estructura de estos pane-

les, comúnmente de aluminio, está diseñada de tal manera que su forma de encaje absorba los movimientos del sismo, permita la dilatación y mantenga la hermeticidad entre paneles adyacentes. También debe canalizar las posibles infiltraciones de agua y su evacuación por piso», explica Humberto Geraldo, jefe del departamento de diseño de Ingewall.

Para la fabricación de estos sistemas, se requiere de un estudio y planificación ya que se debe producir paneles estándares, porque su instalación no permite interrupciones. La instalación tiene un sentido y una dirección analizada con anterioridad. «En muros frame, la estanqueidad del muro cortina no depende del sello exterior de silicona, sino de las barreras estancas de los perfiles de aluminio que componen el panel. Estos sistemas permiten que los paneles se encuentren en constante movimiento sin producir ruidos en horas determinadas del día», agrega Geraldo.

No todo se restringe a muros cortinas y ascensores. Las recomendaciones de seguridad pueden aplicarse a diversos elementos como aislar la tabiquería interior y proteger los sistemas integrados, tanto eléctricos, telefónicos como tuberías. Además, hay consejos básicos como evitar instalar parrillas de calefacción, luces y tuberías cruzando una junta de dilatación. Éstas, por ejemplo, se pueden arriostrar con diagonales laterales, una solución poco habitual porque implica un nivel de planificación mayor de la obra y coordinación con otras instalaciones.

Las panderetas, conocidas como cierre perimetrales, representan un elemento no estructural de alta incidencia que al derrumbarse puede causar accidentes a personas. Se trata de elementos sencillos de reforzar por medio de prácticas constructivas básicas como la instalación de una columna ubicada a intervalos máximos de cinco metros, dicen los expertos.

La lección en este caso es que si se pretenden reducir las pérdidas económicas y sociales asociadas a los sismos, se debe asegurar tanto los componentes estructurales como los no estructurales de viviendas y edificios.

DERRUMBES EN CASAS DE ADOBE.

A juicio de los especialistas no es un material para zonas sísmicas (Huara).



Foto gentileza Rubén Boroschek



Foto gentileza Rubén Boroschek

ASCENSORES «ANTISÍSMICOS»

En el mercado no hay una definición clara de los ascensores antisísmicos, sin embargo algunos elementos adicionales permiten resistir en mayor grado las solicitaciones producidas por los sismos.

«Un ascensor antisísmico debiera incluir entre sus modalidades de emergencia (retorno en incendios y corte de energía eléctrica, entre otros), la operación de terremotos o sismos, que consiste básicamente en que al detectar el movimiento se detienen en el nivel más próximo permitiendo la salida de pasajeros a la espera de la activación por personal especializado, previa inspección. La detección del sismo es realizada por sensores especiales que se proveen con el equipo», explica Lionel Cid, gerente de ventas de ascensores Otis.

Esto se complementa con precauciones al especificar los componentes de los ascensores. «Los equipos utilizados en el país en su mayoría son importados por lo que contienen exigencias a nivel sísmico diferentes a las chilenas. Casos típicos son los rieles de contrapeso que en diseños estándar de Brasil o España, se fabrican en perfiles de material plegado y que para el caso de Chile debieran contener rieles sólidos», explica Cid.

Si bien no hay diferencias técnicas relevantes con los ascensores convencionales, son las precauciones sísmicas las que los distinguen:

- Rieles sólidos en las cabinas y los contrapesos adecuados para resistir solicitaciones de zonas sísmicas.
- Espaciamiento adecuado de los anclajes de rieles, no mayores a 2,5 m en ascensores eléctricos normales pudiendo llegar a no más de 1,5 m en ascensores hidráulicos laterales o de tracción con colgado lateral (en voladizo).
- Anclajes adecuados de equipo de sala de máquinas, para evitar desplazamientos y volcamientos.
- Diseño de contrapesos apropiados con elementos que eviten la deformación, con amarres y sellado de elementos de contrapeso.

El proveedor indica que un ascensor preparado para situaciones sísmicas debiera tener un aumento de costos entre un 10 y 20%, comparado con un ascensor convencional. «Lamentablemente son muy escasos los proyectos en los que exigen el cumplimiento de condiciones adecuadas para la situación sísmica del país. El ascensor que contiene características antisísmicas es de escasa solicitud, considerándose en no más de 3 ó 4 edificios en promedio al año».

**Tercera lección:
Adecuado uso de materiales**

El saldo del terremoto en infraestructura incluyó problemas en las vías de acceso a Iquique y se apreciaron daños menores en las construcciones de las principales ciudades de la Primera Región.

Sin embargo, un recorrido de profesionales de la Universidad de Chile permitió constatar deterioros considerables al interior de la región, especialmente en viviendas construidas con materiales de la zona. «Nos trasladamos desde la quebrada de Tana-Camiña por el norte hasta el pueblo Colonia Pintados en el sur, cubriendo 27 localidades. Para determinar la intensidad del sismo realizamos evaluaciones acordes con el nivel de daño que presentaban las casas, particularmente las de materiales locales como piedra asentada en barro y adobe», cuenta Maximiliano Astroza, del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

La metodología para determinar la intensidad de los sismos en sitios donde no hay instrumentos se basa en la escala de Mercalli, estableciendo la intensidad de los movimientos telúricos en función de la sensación percibida (de 0 a 5 grados) y de los daños observados (de 6 a 10 grados). De acuerdo con esta metodología, las construcciones menos afectadas por el terremoto de junio son las de albañilería confinada, seguidas por las de albañilería armada, adobe, y piedra asentada en barro.

Los daños fueron diversos dependiendo del material. Las casas de albañilería de piedra ubicadas cerca del epicentro del sismo resultaron las más afectadas al sufrir el derrumbe de muros y la caída de techumbres, que sepultó el contenido de las viviendas e interrumpió las vías de evacuación. Por su parte, las construcciones de adobe también presentaron daños importantes como agrietamientos y caída de muros, las de madera variaron según el tipo de material

utilizado, la calidad de las uniones, y la mantención. La albañilería estructural mostró un buen comportamiento en general salvo en detalles de armadura mal resueltos, vanos longitudinales excesivos, y el uso de materiales en condiciones deficientes.

«La calidad del material utilizado influye enormemente en la respuesta de las viviendas frente a un sismo, es decir, no es lo mismo unir ladrillo con mortero que piedras con



Juan Sabbagh,
presidente del Colegio de Arquitectos.



Marcial Baeza,
Ingeniero Civil Estructural y
presidente de ACHISINA.

barro. La experiencia nos indica que las construcciones de adobe y piedra suelen colapsar con mayor facilidad ante terremotos de esta intensidad, sobre todo si son antiguas y se encuentran cerca del epicentro», asegura Astroza.

Un estudio realizado por profesionales de la Universidad de Chile determinó que el empleo de materiales locales aumentó la vulnerabilidad de las construcciones. En las casas de la precordillera nortina se utilizan piedras en bruto obtenidas de las quebradas y piedras canteadas asentadas en barro, mientras que en el extremo occidental de la Pampa del Tamarugal, se usa el caliche del suelo de la pampa, semitallado y adherido con barro. «Estas viviendas de un piso hechas con unidades de barro moldeadas y secadas al sol, unidas con un mortero de barro y paja picada, no presentan refuerzos que garanticen un buen comportamiento frente a un terremoto. Su principal característica es la alta densidad de muros de gran espesor y dimensiones reducidas de las plantas, lo que no fue suficiente para impedir el colapso», concluye el informe.

Las construcciones de adobe igualmente carecen de refuerzos y en su fabricación intervienen los suelos más finos de la zona. Además, hay casas hechas con albañilería canteada unidas con mortero de cemento, tabiquería rellena, y las de mejor comportamiento sísmico son las de albañilería reforzada armada y confinada. «Se trata de viviendas modernas de uno y dos pisos, que presentaron daño moderado permitiendo la continuidad operacional después del sismo» señala el documento.

Además de los materiales, factores como la densidad de muros pueden influir en el comportamiento de las construcciones. En Pozo Almonte, por ejemplo, se produjeron severos daños en un conjunto de edificios de albañilería armada, un material de buen comportamiento sísmico. Según el informe de la Universidad de Chile, el colapso se debió a la baja densidad de muros por unidad de piso en la dirección de las fachadas delanteras y traseras.

Por otra parte hay una gran variedad de materiales apropiados para zonas sísmicas, sin embargo, todos tienen una resistencia máxima que se debe considerar. «Es necesario reconocer que siempre se presentarán daños de distintos grados en las construcciones. Por ejemplo, en edificaciones de hormigón reforzado se pueden generar fisuras, agrietamiento y pérdida parcial o total del material. Sin embargo, en ningún caso se aceptarían situaciones que pongan en riesgo la vida de los usuarios», señala la «Guía para la reducción de la vulnerabilidad en el diseño de nuevos establecimientos de salud», elaborada por el Centro Colaborador de la Organización Panamericana de la Salud de Migración de Desastres en Establecimientos de Salud, de la Universidad de Chile.

Más allá de las recomendaciones, los ingenieros coinciden en que una lección del terremoto consiste en erradicar definitivamente las construcciones en adobe y otros materiales vulnerables en zonas sísmicas del país. «No podemos discutir si se puede usar o no adobe, está claro que no debiéramos utilizarlo y menos avalarlo por medio de normas o decretos. Por ejemplo, frente a un sismo grado 9 en la escala de Mercalli, intensidad que se registró en la zona del epicentro en San Lorenzo y Guarasiña, por lo menos el 85% de las viviendas de adobe experimentará una situación de colapso parcial o total de sus muros», asegura Astroza. Santolaya es más categórico: «Los daños causados en los pueblos interiores de Tarapacá se deben exclusivamente a la construcción en adobe, que es el peor material para zonas sísmicas, no tiene resistencia y cuenta con una tremenda masa».

Pero el tema no es tan simple ya que hay obras hechas con este material que forman parte del patrimonio arquitectónico de nuestro país. En estos casos, los especialistas proponen realizar mayores investigaciones para brindar seguridad sísmica. «Una solución que no resulta tan sencilla y requiere de grupos interdisciplinarios para llevarla adelante».

Por su parte, los ingenieros proponen construir estructuras reforzadas que conserven su aspecto original. Marcial Baeza destaca que es un deber conservar el patrimonio, pero «tenemos uno construido con materiales y tecnología que claramente no funciona, es imposible conservar y garantizar su comportamiento en un país sísmico. Por eso proponemos incorporar a las iglesias patrimoniales losas de piso con aisladores sísmicos, pero esto requiere inversión. También planteamos a los arquitectos construir iglesias de hormigón armado, es decir, correctamente protegidas, con el recubrimiento tradicional de adobe, pero esta alternativa genera polémicas».

En la zona hay viviendas de tabiquería de madera rellena con diferentes materiales en edificios más livianos, principalmente de uno y dos pisos, construidos con madera y carpintería de buena calidad, detalles que se aprecian en las uniones y terminaciones. Según el informe de la Universidad de Chile, el comportamiento sísmico de estas construcciones fue correcto, sin colapsos. Los daños pueden calificarse como menores, principalmente la caída de los estu-

cos, y sólo en algunos casos vaciamiento de los rellenos, especialmente aquellos de albañilería de piedra. «Comparativamente con lo observado en otros terremotos, como los que han afectado al centro sur del país, el comportamiento de este tipo de construcción en este terremoto fue mucho mejor por la calidad y el buen estado de conservación de la estructura de madera», concluye.

Las construcciones de madera propiamente tal abundan en el sector antiguo de Iquique y excepcionalmente en algunos pueblos del interior «debido a que no es una solución económica para los ingresos de la mayoría de los habitantes de la zona», señala el documento.

Cuarta lección: Actualizar la normativa

En el país rigen tres normativas sobre diseño sísmico, la NCh 433 Of96 de diseño sísmico de edificios, NCh 2745 Of2003 sobre análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, y NCh 2369 Of2003 de diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.

La NCh 433, que establece requisitos mínimos para el diseño sísmico de edificios, se refiere a los equipos y elementos secundarios, incluye recomendaciones sobre la evaluación del daño sísmico y su reparación, y define una

zonificación sísmica en el país. La NCh 2369 establece los requisitos para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales, ya sean livianas o pesadas. Entre sus objetivos está la protección de la vida en la industria y la continuidad operacional. Por su parte, la NCh 2745 establece los requisitos para el análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica, incluyendo el diseño de elementos no estructurales.

Con estos antecedentes, arquitectos e ingenieros estructurales coinciden en que la normativa sísmica resultó eficiente para enfrentar el terremoto del norte. «La experiencia indica que una obra correctamente construida, calculada y con una mecánica de suelos apropiada no presenta problemas, lo que demuestra que la normativa es adecuada», asegura Juan Sabbagh.

Sin embargo, los sismólogos advierten que la reglamentación es incompleta. «La actual norma se relaciona con los sismos de tipo costero, que se producen con mayor frecuencia en el país, pero falta una regulación que considere otros terremotos como los intraplaca. Además, la aceleración máxima que afecta a una estructura igualmente se ha calibrado sólo para terremotos costeros, y se desconocen las sollicitaciones de la estructura frente otros eventos», señala el sismólogo Jaime Campos.

Otro aspecto para mejorar reside en la zonificación aunque la norma establece tres zonas sísmicas regionales, los especialistas aseguran que para evaluar la amenaza sísmica es necesario caracterizar las zonas a nivel nacional, regional y local. Además, se requiere actualización de la normativa. «Hay suficiente conocimiento para hacer una nueva norma, la actual está vigente desde 1996, pero se comenzó a elaborar en 1988, siendo que una norma debería tener una nueva versión cada diez años. Por otra parte, a partir de 1980 se suprimió la revisión de los proyectos de cálculo, dejando la responsabilidad en cada profesional. Recién el 2003 entró en vigencia una ley de revisión de los proyectos de cálculo, por lo que no sabemos qué pasó con los ejecutados durante el período anterior», asegura Baeza.

Quinta Lección: Trabajo de suelos

«Los suelos del norte se caracterizan por su alto contenido de compuestos salinos, principalmente cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos que le proporcionan una cementación con excelentes propiedades mecánicas, estáticas y dinámicas. Por esto, en términos generales, se comportaron correctamente durante el sismo dejando de ser protagonistas de la mayor parte de las fallas, excepto en taludes y en algunos casos aislados», es la conclusión de Claudio Fonca, profesor de geotecnia y del programa de postgrado en Ingeniería Geotécnica de la Universidad de Chile. Este sismo intraplaca produjo solicitaciones mayores en el interior del continente, en cambio un sismo interplaca afecta principalmente la zona del litoral donde los suelos no necesariamente tienen las mismas características. Por ejemplo, en la zona costera las sales generalmente se encuentran formando costras a poca profundidad, pero rodeadas de suelos de compacidad variable.

La roca ubicada a pocos metros de profundidad hizo disminuir la amplificación de los movimientos sísmicos, provocando menores daños relativos en estructuras correctamente diseñadas y construidas. Por otra parte, la cementación salina en taludes se manifiesta en mayores inclinaciones posibles en los taludes. «Sin embargo, los taludes de caminos donde se le ha exigido a las rocas -que son mayoritarias- y a los suelos su máxima capacidad resistente, no hay duda que el sismo provocó daños al exceder con sus solicitaciones los factores de seguridad que estáticamente se aproximaban a 1.0 (**), ya que cualquier solicitación adicional, como es el caso de un sismo, llevará a los taludes a la falla», explica Fonca.

A pesar de las ventajas de los suelos del norte, algunas zonas se vieron particularmente afectadas por el sismo como el cerro El Dragón, cuyas arenas de dunas sin cementación sufrieron el desplazamiento lateral del suelo en sus bordes, produciendo daños en ampliaciones de viviendas realizadas sin proyectos de ingeniería. Esto también ocurrió en algunas calles construidas sobre el relleno de las dunas, que resultaron con sus soleras despegadas del pavimento

debido a los corrimientos. Los desplazamientos hicieron aparecer los cuellos de las alcantarillas en unos 15 centímetros y provocaron otros daños menores.

«Otro tipo de falla es la de asentamientos que sufren áreas donde las sales han sido disueltas antes por el agua, dejando espacios vacíos que colapsan con la solicitación sísmica», agrega Fonca. Los suelos de esta zona contienen porcentajes variables de sales solubles en agua, a su vez los usuarios por medio del riego de jardines, el lavado de vehículos, las rupturas de cañerías u otro tipo de actividades estimulan la penetración de agua, produciendo la disolución de sales que se pueden encontrar como costras a poca profundidad. «Se producen deformaciones verticales inmediatas después de la acción disolvente del agua, en otros casos quedan vacíos dentro de la masa de suelo que pueden colapsar frente a las solicitaciones sísmicas, tal como ha sido observado en casos aislados», explica Fonca.

Sexta lección: Inversión en investigación

Arquitectos, ingenieros e investigadores coinciden en que más allá de la sorpresa que produjo el comportamiento de algunas estructuras frente al sismo, la lección más importante del terremoto se relaciona con la deuda en investigación.

Para el sismólogo Jaime Campos, el terremoto de Tarapacá planteó preguntas sobre el progreso en la caracterización de las distintas amenazas sísmicas, las zonas sismogénicas, las fuentes de los sismos, y la confección de mapas del peligro sísmico nacional, entre otros. «Sin embargo no existen programas gubernamentales para estimular la investigación en esta área y los estudios reposan en unos cuantos sismólogos con escaso material e instrumentación. El riesgo de mantener esta situación es que ocurra un gran terremoto en una zona donde tenemos pocos instrumentos, lo que nuevamente nos dejaría sin aprender todas las lecciones».

El desafío más importante según el investigador consiste en reducir el riesgo sísmico a cero, «lo que será posible cuando tengamos una estrategia apoyada en una cultura preventiva más que predictiva, que tenga más especialistas y conocimientos para entender y caracterizar mejor los sismos, y así entregar a la ingeniería datos confiables para desarrollar diseños antisísmicos adecuados». El ingeniero estructural Marcial Baeza coincide: «Se requiere invertir para instrumentar al país y así responder, por ejemplo, qué sucedería con un terremoto similar al de Tarapacá en Santiago».

Materiales, estructuras, contenidos, usuarios, y normativa son resultado de la investigación que se alza como el punto de partida para aprender más sobre terremotos, una tarea fundamental para un país sísmico como Chile. **B**

(**) El factor de seguridad indica el grado de estabilidad de una estructura o talud. Debe ser mayor que 1.0 para ser estable, siendo 1.5 un mayor grado de estabilidad ante una falla posible. Por debajo del factor de seguridad 1.0, el talud fallaría.

Las enseñanzas del movimiento sísmico de Magnitud 7.9, que en junio afectó al norte de nuestro país son diversas.

• **Primera lección: Capacitar al usuario**

La intervención de los usuarios puede perjudicar las propiedades estructurales de las construcciones. Entre las alteraciones más comunes en los lugares afectados por el terremoto están aumentar la altura de los cierres perimetrales, eliminar el terreno lateral a las fundaciones, y construir jardines y piscinas sin asesoramiento profesional.

• **Segunda lección: Seguridad de elementos no estructurales**

El terremoto intraplaca se caracterizó por una alta frecuencia lo que se tradujo en daños moderados sobre los edificios, afectando los elementos de contenido como ascensores sin protección antisísmica.

La lección en este caso es que si se pretenden reducir las pérdidas económicas y sociales asociadas a los sismos, se debe asegurar tanto los componentes estructurales como los no estructurales de viviendas y edificios.

• **Tercera lección: Adecuado uso de materiales**

Los ingenieros coinciden en que se debe erradicar definitivamente las construcciones en adobe y en otros materiales vulnerables en zonas sísmicas del país.

• **Cuarta lección: Actualizar la normativa**

Arquitectos e ingenieros estructurales aseguran que la normativa sísmica resultó eficiente para enfrentar el terremoto del norte. Sin embargo, los sismólogos advierten que la reglamentación es incompleta.

• **Quinta lección: Trabajo de suelos**

A pesar de las ventajas de los suelos del norte, algunas zonas se vieron afectadas por el sismo como el cerro El Dragón, cuyas arenas de dunas sin cementación sufrieron el desplazamiento lateral del suelo en sus bordes.

• **Sexta lección: Inversión en investigación**

Los profesionales coinciden en que la lección más importante del terremoto se relaciona con la deuda en investigación sobre la materia.

www.achisina.cl

Para profundizar este tema recomendamos ver las publicaciones y sitios web incluidos en la página 80.