

## REPARACIÓN DE EDIFICIOS DAÑADOS POR TERREMOTO

# INNOVACIÓN AL RESCATE

**27** DE FEBRERO DE 2010, un sismo 8.8° en la escala de Richter remece la zona centro-sur del país. Es de madrugada y la confusión todo lo invade. Con la luz del día se conocen las consecuencias. La construcción responde bien; sin embargo, se experimentan serios daños en algunas estructuras. Al movimiento telúrico, se une otro fenómeno con efectos más profundos: el tsunami... De estos hechos, ya han transcurrido más de dos años e inevitablemente continúan siendo un tema recurrente. Y es que de ellos se desprenden importantes lecciones que, para la construcción, han representado la revisión de normativas, técnicas y nuevas soluciones constructivas. Es un asunto clave y así lo ha sido históricamente. "Por supuesto que los terremotos en Chile nos enseñan y este (el del 2010) tuvo particularidades dinámicas muy especiales que se salieron de los cánones que conocíamos. Por lo tanto, hubo que adaptar nuestras normas y criterios de diseño con los decretos que hoy nos permiten funcionar con un estado del arte de la ingeniería muy distinto al del año 2010", ilustra Gonzalo Santolaya, gerente general de Gonzalo Santolaya Ingenieros Consultores S.A.

En publicaciones anteriores, Revista BiT ha revisado profundamente las principales consecuencias del terremoto, los cambios normativos, además de las principales alternativas de rehabilitación estructural. Esta vez, el foco se concentra en la innovación, con un vistazo a experiencias concretas que dan cuenta de cómo la tecnología y el cálculo estructural han facilitado la reparación y puesta en servicio de construcciones que se vieron gravemente dañadas tras el sismo. Es la innovación al servicio del rescate. Otra lección que fortalece la experiencia de la ingeniería y la construcción nacional.



■ Nuevas experiencias en la recuperación de edificios afectados tras el 27F marcan tendencia en Chile. Planificación, cálculo y tecnología en obras de alta complejidad. ■ Aprendizajes que se suman y fortalecen las lecciones extraídas del pasado terremoto que, según los expertos, permiten hablar de un nuevo estado del arte de la ingeniería chilena. Innovación al servicio de la rehabilitación estructural.

ALEJANDRO PAVEZ V.  
PERIODISTA REVISTA BIT





**1-2.** Tras el sismo del año '85, se aumentaron las alturas de los edificios de 15 a 25 pisos y los espesores de muros se bajaron entre 15 y 20 cm; o sea, se aumentaron las cargas axiales y se bajaron los espesores de muros. Allí se generaron los principales problemas el 27F.

**3.** Un ejemplo de cómo en algunos edificios los muros delgados con cargas elevadas sufrieron severos daños en su estructura.

**4.** Otro de los daños de análisis y diseño observados luego del terremoto del 27 de febrero de 2010. En este caso, una aglomeración de barras sin confinamiento.



de 2010 “calculamos que unos 25 mil edificios fueron puestos a prueba y el resultado fue extraordinario. Así lo avalan estudios internacionales. De esa cantidad, tenemos 3 colapsados conocidos y entre 60 u 80 que tuvieron que ser desocupados, para ser reparados. Si son 60 edificios, estamos hablando del 0,3% de la muestra. Que este porcentaje haya necesitado reparaciones mayores, es un éxito”. “La cantidad de edificios que se vio sometida a esta prueba es realmente una muestra representativa, por tanto, no se puede más que concluir que la construcción en Chile es excelente, lo que no significa que no sea perfectible. Los resultados son notablemente exitosos, incluso cuando se comparan con los obtenidos en países más desarrollados”, complementa Arturo Castillo, socio director de VMB Ingeniería Estructural.

## FALLAS

Si bien estadísticamente los edificios afectados por el sismo son poco significativos, igualmente hubo casos que experimentaron fallas que obligaron a una revisión de los procedimientos de diseño y cálculo. “El terremoto, que fue muy exigente en cuanto a deformaciones y a momentos volcantes, nos mostró un tipo de daño en muros que prácticamente no lo conocíamos, producidos por compresión y no por esfuerzo de corte. Algo que ocurrió en muros muy esbeltos y en los que no tenían armaduras de confinamiento”, explica Santolaya. En un sismo, los edificios sufren deformaciones y tienden a girar. Según señalan los expertos, corresponden a esfuerzos de vuelcos (momentos volcantes) que generan necesidades de deformación y de

## ANTECEDENTES

En Chile, la mayoría de los edificios son de hormigón armado. El comportamiento sísmico de este material “es extraordinario, especialmente si se tiene cuidado de respetar los criterios de diseño por capacidad y los niveles de confinamiento que se establecen las normas actuales”, introduce Carl Lüders, académico de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica y socio fundador de SIRVE S.A. Según el especialista, hasta el terremoto de 1985 los daños más frecuentes de edificios de hormigón armado se presentaban en columnas cortas y en dinteles de acoplamiento. “Las enseñanzas de ese terremoto y el mejoramiento de los procedimientos de análisis y diseño, redujeron fuertemente la presencia de dicho tipo de falla durante el terremoto de 2010”, explica. El mejoramiento de los métodos de análisis, por tanto, dio mayor confianza a los proyectistas y se empezaron a diseñar edificios cada vez más altos, con muros más delgados, con diversas singularidades (generadas por conveniencia

arquitectónica) y emplazados en suelos de dudosa calidad. “En el sismo del año 1985 fallaron algunos edificios fundados sobre arenas de baja densidad que amplificaron el movimiento sísmico; mientras que en el sismo del 27F los daños se debieron a cambios en los criterios de diseño tanto de arquitectura como cálculo estructural. Por ejemplo, antes de 1985 los edificios alcanzaban alturas cercanas a los 15 pisos y espesores de muros entre 20 a 30 cm y después del año '85, se aumentaron las alturas de los edificios de 15 a 25 pisos y los espesores de muros bajaron entre 15 y 20 cm. Así, se aumentaron las cargas axiales y se bajaron los espesores de muros”, indica Alfredo Vergara, docente de Ingeniería en Construcción de Duoc UC.

Esta situación, decantó en que una serie de edificios, posteriores a 1990, experimentarían daños significativos (al borde del colapso) durante el terremoto de 2010, debido al exceso de compresiones en muros delgados. Aun así, se trató de un porcentaje mínimo. Según Gonzalo Santolaya, en el sismo

TABLA 1

INTENSIDAD DEL SISMO	DAÑOS EN LA ESTRUCTURA	
	LEVES	MODERADOS
Moderada	Reforzar	Reforzar o Demoler
Mediana	Reparar	Reforzar
Severa	Reparar	Reparar

La recomendación de los expertos es que para el alzamiento de emergencia de edificios en altura, se utilicen tubos Yoder con un sistema especial de pernos que permite darles una precarga controlada.

giro en las bases de los edificios y de los muros. Esto genera compresiones y tracciones alternadas que, sumado a la carga vertical de pesos propios, produjo el rompimiento de los muros en las cabezas por compresión. Se trata de una falla progresiva que rompe y muele el hormigón, estirando, pandeando y cortando las armaduras. “Esa falla de flexo compresión es la más repetitiva durante el terremoto y fue tema de discusión de la norma de diseño que tiene que ver con límites de compresiones, esbelteces de muro, y armadura de confinamiento”, puntualiza Santolaya. Un problema del que se ha hecho cargo el Decreto Supremo (D.S 60) que modifica la norma de diseño de hormigón armado NCh430.

Lo mismo pasó con otro de los problemas que arrojó el 27F y que fue mejorado con el D.S 61 que modificó la NCh433: la clasificación de suelos. “Una de las razones de falla que más se repitió tuvo que ver con la clasificación del suelo. En el último terremoto pudimos constatar que los lugares en que se concentró la mayor cantidad de edificios con daños coinciden con los sectores de suelos blandos”, señala Castillo. “Con los nuevos decretos, los problemas están cubiertos y mejorados. Nos deja tranquilos, aunque debemos pulirlos y calibrarlos, porque –en la



GENTILEZA CARL LÜDERS



práctica– existen algunos resultados que nos parecen exagerados”, dice Gonzalo Santolaya (ver Revista BiT N°84, pág. 68).

Carl Lüders, añade que la falla de elementos no estructurales (ver Revista BiT N°76, pág. 20) fue otro aspecto que tomó relevancia como consecuencia del terremoto de 2010. “Es un aspecto de solución relativamente simple que se atacó sacando el capítulo correspondiente de la Norma NCh433 (Capítulo 8), completándolo y transformándolo en una norma independiente. Tengo entendido que aún no se ha oficializado”, comenta.

## REPARACIÓN

De acuerdo a Lüders, los niveles de reparación y refuerzo que se deben aplicar en cada caso, dependerá de la intensidad del sismo que produjo el daño. Esto, conduce a una clasificación expresada en la tabla 1.

Desde el punto de vista del uso de los edificios, el académico de la PUC, define varios niveles de daño: “(i) Daños menores que no impiden la normal utilización del edificio. (ii) Daños intermedios en que se debe exigir el desalojo del inmueble y solamente se puede permitir un acceso temporal controlado. (iii) Daños mayores, con inminente peligro de



1



4



2



5



3



6

**EDIFICIO EL PARQUE, TORRE C**

1. El proceso considero innumerables análisis, cálculos y conversaciones. El monitoreo era constante.
2. Tras una serie de evaluaciones, se decidió utilizar un sistema de gáteo hidráulico para devolver los estados tensionales de diseño a la estructura, tratando de restituir la deformación vertical en los ejes dañados.
3. La aplicación de las cargas fue de manera incremental y alternada provocando que la recuperación fuera regulada y proporcional en cada instante para cada muro.
- 4-5. El proceso consideró el monitoreo de las deformaciones axiales en muros; la variación de ancho de grieta existente; el levantamiento de puntos de gáteo, entre otros.
6. Adicionalmente, se reforzaron los muros críticos con mantos de fibra de carbono para prevenir daños por el gáteo.
7. Posterior al gáteo, se reforzaron los elementos críticos, ensanchando muros y confinando las cabezas de compresión.



7

colapso total o parcial en que se debe impedir el acceso a cualquier persona y ordenar la demolición del inmueble”, plantea.

Para recuperar el edificio, existen variadas alternativas y dependerá de cada caso particular (ver Revista BIT N° 75, pág. 18). Actualmente existen una serie de materiales que facilitan los procesos de reparación. Los elementos dañados pueden ser recuperados con refuerzos de acero, inyecciones epóxicas y fibras de carbono, entre otras. “Respecto a sus ventajas o desventajas, eso dependerá de lo que arroje el nuevo cálculo estructural. Es más, tal vez no sea necesario reparar todas las grietas, dado que algunas de ellas van a seguir trabajando dentro de la estructura y más bien se van a comportar como una junta de dilatación que como grieta inactiva. Yo diría que hay solo ventajas y no desventajas, ahora para optar entre una y otra solución depende de lo costos de la re-

habilitación o reparación”, añade Vergara.

La tecnología y el criterio ingenieril, también juegan un rol fundamental en la reparación estructural de los edificios. Particularmente, abordaremos dos casos que presentaron daños severos en su estructura y que pusieron en jaque su geometría. Para muchos “una tarea imposible”; sin embargo, se obtuvieron buenos resultados. Es la innovación al rescate.

**EDIFICIO EL PARQUE, TORRE C**

Las obras realizadas en este edificio ubicado en Gran Avenida, comuna de San Miguel, corresponden a la reparación y recuperación del estado inicial, tensional y geométrico de la estructura tras el 27F. El complejo, compuesto de un sistema de muros y vigas resistentes, fue sometido a diversos análisis lineales y no lineales, para lograr el objetivo. “La Torre El Parque es un edificio de una estructura muy

típica, departamentos pequeños con doble muro estructural longitudinal de pasillo, muchos muros transversales y separadores de los instrumentos. Forma parte de un complejo de tres torres y por motivos que aun se estudian, durante el terremoto, solo la Torre C sufrió daños. Las otras dos, que son de la misma estructuración, quedaron sin problemas”, comenta Gonzalo Santolaya, responsable del proyecto de reparación.

En términos generales, se trata de una torre de 17 pisos con dos subterráneos. Durante el sismo, tuvo 3 muros fallados en el primer subterráneo por el efecto de flexo compresión. Una falla progresiva que terminó por causar un rompimiento del hormigón y sus armaduras de borde, generando un descenso del orden de 7 cm en la vertical de toda la columna de departamentos. “Al descender ese costado del edificio y no el costado trasero contrario, este sufrió un giro glo-

GENTILEZA SANTOLAYA INGENIEROS CONSULTORES

bal. El último piso estaba corrido de la vertical en 24 cm”, comenta el ingeniero.

Específicamente, los daños se concentraron entre los ejes 13C, 15C y 20C del edificio. En el muro del primer eje indicado, de sección tipo T, se produjo una grieta que cruza el muro de un lado a otro en el sector del alma. Con ello, el muro quedó con una deformación vertical permanente de 24 mm, con una carga axial estática inicial de 409 toneladas. En el segundo caso, su sección se vio comprometida en su totalidad, por lo que el muro quedó con una deformación vertical permanente de 75 mm, con carga axial estática inicial de 673 t. Finalmente el tercer eje, del mismo modo sufrió daños en el alma de la sección, con una deformación permanente de 58 mm y una carga axial estática inicial de 407 toneladas.

#### SOLUCIÓN

“El edificio estaba lejos de estar en condiciones de colapso. Lo primero que hicimos fue apuntalarlo, de manera que ante una réplica,

TRAS EL GATEO SE LOGRÓ RECUPERAR GRAN PARTE DE LA GEOMETRÍA DEL EDIFICIO EL PARQUE, TORRE C. **“DE LOS 7 CM DE LA VERTICAL, QUEDARON SOLO UNOS MILÍMETROS RESIDUALES”.**

al menos, las cargas verticales fuesen transmitidas hacia la fundación mediante los puntales. Rápidamente reconstruimos un muro provisorio paralelo a los muros fallados de manera de estar cubiertos hasta que nos pudiéramos de acuerdo en cómo repararlo y finalmente se decidió correr el riesgo de hacer un gateo”, indica Santolaya. El riesgo era aplicar toneladas al edificio y que este empezara a sufrir esfuerzos no contemplados en los cálculos iniciales, generando, incluso, nuevos daños a otros elementos estructurales. “El gatearlo y aplicarle fuerzas verticales

externas –que el edificio iba a incorporar en sus esfuerzos– iba a ser un bien al edificio en cuanto a su estado tensional, porque lo íbamos a destensionar. Pero lo que no sabíamos era si es que íbamos a ser capaces de recuperar la geometría, porque con los modelos matemáticos que disponíamos, era imposible reflejar ese estado del edificio con elementos dañados”, complementa el ingeniero. Los modelos realizados eran elásticos, que suponen que los edificios no están dañados; por tanto, los resultados no eran “creíbles”. Tras innumerables análisis, cálculos y conversacio-

**NIBSA®**

CALIDAD Y RESPALDO

ISO 9001

EFICIENCIA ENERGÉTICA AHORRO

**Nueva línea de grifería Rosario**  
Grifería Eficiente con diseño de gran belleza

**Aireadores Eficientes Neoperl\* N°1 PERL**

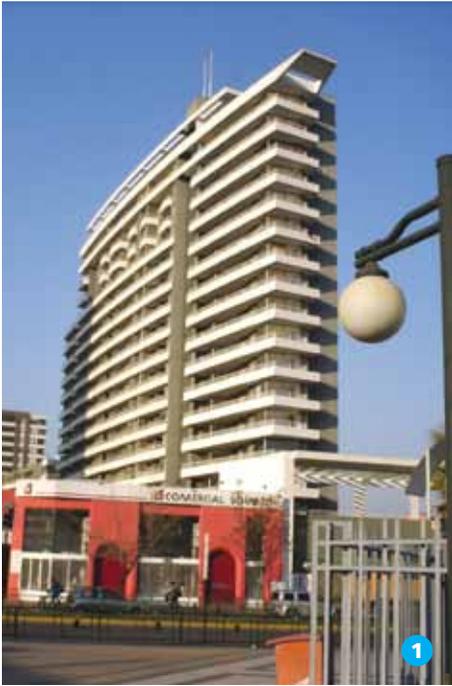
- Entregan 7,5 a 9 litros por minuto
- Hasta 70% ahorro de Agua y Energía
- Chorro de agua espumante, una delicia en sus manos
- Fabricados en Alemania
- \*De acuerdo a Norma Chilena 3203

**Flexibles de Conexión NibsaFlex y NibsaFlex Plus**

- Flexibles Certificados Anti-Corrosión, Norma Chilena 3182
- NibsaFlex, 5 Años de Garantía. Fabricación RPC.
- NibsaFlex Plus, 10 Años de garantía. Fabricación Italia. Con Seguro de Responsabilidad Civil.
- Seguridad Total en todas las instalaciones.

**EcO<sub>2</sub>O**  
NIBSA  
ECOLÓGICO

Véalas en la web  
[www.nibsa.com](http://www.nibsa.com)



**EDIFICIO EMERALD**

- 1.** El proyecto se dividió en tres etapas: estabilización, levantamiento y reparación y refuerzo. Se trata de un edificio de muros de hormigón armado de 19 pisos, que tras el 27F sufrió daños en 5 muros adyacentes en el primer subterráneo y uno en el segundo piso.
- 2.** Se alzaprimaron las zonas dañadas para transmitir las cargas verticales hasta las fundaciones. Se usaron estructuras de acero que incluían tubos de 300 mm y 200 t de capacidad, sobre un conjunto de vigas de acero que transmitía las fuerzas al radier, haciendo las veces de una fundación.

- 3.** Para las faenas de levantamiento y recuperación geométrica de la estructura, se diseñaron una serie de elementos metálicos verticales adicionales e independientes a los muros del edificio.
- 4.** Para la estabilización horizontal se dispusieron perfiles de acero inclinados capaces de transmitir las fuerzas horizontales que los muros dañados ya no podían tomar.
- 5.** Sobre los elementos metálicos, se colocaron unos gatos hidráulicos que permitieron transmitir fuerzas de alrededor de 150 hasta 412 toneladas por punto de aplicación.
- 6.** Los gatos hidráulicos eran controlados por un tablero computarizado que también efectúa mediciones de desplazamiento y de presiones. Durante todo el proceso se monitoreó topográficamente el edificio.



nes, lo que primó fue el criterio de tratar de suponer lo que iba a pasar con el gateo.

Así, el proceso de gateo de los tres ejes en cuestión, contempló 5 zonas en el primer subterráneo, donde se instalaron gatos hidráulicos con capacidad hasta 500 toneladas, conectadas todas a un computador central de manera de controlar simultáneamente cargas y desplazamientos. Tres de ellos, se ubicaron en las cabezas de los muros de los ejes a levantar y dos funcionaron como respaldo en la zona media de los muros de los ejes 15C y 20C. Con ello, se esperaba rehabilitar la estructura. “Se hizo un montaje de alta tecnología con numerosos controles de deformación y detenciones en toda la estructura para monitorearla en la medida que le íbamos metiendo carga. Teníamos claro cuáles eran los límites de la carga que íbamos a aceptar, un equivalente a la carga original que bajaba por esos muros de manera estática”, comenta Santolaya. Los gatos se montaron sobre estructuras metálicas, que se apoyaron en fundaciones y en la parte superior en capiteles, ambos diseñados para este proyecto.

**RESULTADOS**

El proceso también consideró el monitoreo constante de las deformaciones axiales en muros; la variación de ancho de grieta existente; la inclinación de muros y losas; el levantamiento de puntos de gateo y la deformación unitaria en pilares de soporte de los gatos. Adicionalmente, se reforzaron los mu-

ros críticos con mantos de fibra de carbono para prevenir daños por el gaseo.

La aplicación de las cargas fue de manera incremental y alternada provocando que la recuperación fuera regulada y proporcional en cada instante para cada muro, en incrementos de entre 100 y 150 t, fijando placas metálicas entre incrementos para mantener los estados de tensión. De acuerdo a las cargas finales, se recuperó el estado tensional de peso propio del edificio en un 92,9%; 100,9% y 103,1% en los muros de los tres ejes respectivamente. El proceso también logró recuperar el desplazamiento vertical de los muros, con un sobre levante en el eje 13C de 36% y una recuperación de 95,3% y 87,8% en los dos restantes. "De los 7 cm de la vertical, quedaron solo unos mm residuales, y lo mismo en formación con la inclinación del edificio", finaliza Santolaya.

Por último, tras el gaseo, los muros afectados, fueron demolidos cortadas las armaduras dañadas y fueron restituidos con su capacidad original, confinados con mantas de fibra de carbono.

## EDIFICIO EMERALD

En este caso, el proyecto ubicado en Av. Irrazaval, a pasos de Plaza Ñuñoa, se dividió en tres etapas: estabilización, levantamiento y reparación y refuerzo. Se trata de un edificio de muros de hormigón armado de 19 pisos, que tras el 27F sufrió daños en 5 muros adyacentes en el primer subterráneo y uno en el segundo piso. Esta situación generó un descenso cercano a los 8 cm en cada muro, con una pérdida de verticalidad de hasta 22 mm en el extremo superior de la torre (esquina cercana a los elementos dañados). El daño en los muros se produjo gracias a una pérdida de integridad del hormigón, exposición y ruptura de armaduras. "El edificio tuvo daños estructurales que, si bien fueron importantes, nunca supusieron un peligro inminente de colapso. Es más, desde el primer momento se vio que su reparación era factible. Creemos que las razones de estas fallas están en la amplificación local de ondas, probablemente debidas al suelo (lentes de arcilla) del sector donde está ubicado (en el cual hubo varios edificios con daños similares), además de al-

gunos problemas constructivos", indica Arturo Castillo, socio director de VMB y calculista encargado del proceso de reparación.

Tras el sismo y luego de visitar el edificio, los ingenieros coincidieron junto a otros expertos en que este debía ser evacuado y alzaprimado en sus ejes dañados.

El estudio definitivo comenzó haciendo un levantamiento de daños y cotejando lo existente con los planos estructurales. "Se revisaron los modelos de diseño y se hicieron nuevos procesos estáticos y sísmicos considerando los cambios de rigideces que significaban los daños, para ver cómo reforzar los elementos dañados. Además se extrajeron testigos de hormigón y acero para estudiar sus resistencias. Asimismo, se efectuó un monitoreo topográfico permanente del edificio para evaluar deformaciones que se habían producido y su evolución en el tiempo", agrega Castillo.

## SOLUCIÓN

Aprovechando las posibilidades que la geometría del edificio ofrecía, y para efectos de

# ¿SOLDADURA FUERTE PARA REDES DE GAS DOMICILIARIO?

## Decreto 66 (Art. 45 Punto 45.2.6) - SEC

Desde hoy y para siempre, todas nuestras ventas de Soldadura Fuerte incorporarán un CERTIFICADO DE ANALISIS DE COMPOSICION QUIMICA hecho por Espectrometría de Emisión Óptica de la más alta precisión que acredita el pleno cumplimiento de las Normas Internacionales fundadas por la American Welding Society (AWS) de Estados Unidos y Deutsches Institut für Normung (DIN) de Alemania.

Evite Aleaciones de Composición Desconocida.

**ARGENTA**  
TECNOLOGIA EN SOLDADURA

Santa Corina 0198, La Cisterna, Santiago, Chile  
Tel. (56-2) 522 2222 - ventas@argenta.cl



## CONCLUSIONES

- 1 Los diversos terremotos que suceden en Chile entregan información relevante sobre el comportamiento y la calidad de la construcción. De ahí la importancia de su estudio. El 27F tuvo particularidades dinámicas especiales que se salieron de los cánones conocidos, por lo que se acomodaron las normas y criterios de diseño entregando un estado del arte de la ingeniería muy distinto al del año 2010.
- 2 De todas formas, la cantidad de edificios que se vió dañada tras el terremoto es estadísticamente bajo; por tanto, como señalan los expertos, la construcción en Chile es de buena calidad, lo que no significa que no sea perfectible.
- 3 Los decretos que modifican las normas de diseño sísmico y de hormigón, se hacen cargo de los diversos problemas identificados tras el 27F. No obstante, se deben pulir y calibrar pues –en la práctica– “existen algunos resultados que parecen exagerados”.
- 4 Desde el uso de los edificios, se pueden definir niveles de daño que abordan los daños menores que no impiden la normal utilización del edificio; daños intermedios en que se debe exigir el desalojo del inmueble y solamente se puede permitir un acceso temporal controlado y daños mayores, con inminente peligro de colapso total o parcial en que se debe impedir el acceso a cualquier persona y ordenar la demolición del inmueble.
- 5 Para recuperar el edificio, existen variadas alternativas y dependerá de cada caso particular. Estas pueden ir desde aumentar la rigidez de los elementos estructurales, recuperar los elementos dañados con refuerzos de acero, inyecciones epóxicas, fibras de carbono, etc.; hasta redistribuir los elementos estructurales. Respecto a sus ventajas o desventajas, eso dependerá de lo que arroje el nuevo cálculo estructural.
- 6 La tecnología y el criterio ingenieril, resultan claves para realizar obras complejas como la reparación estructural de los edificios. Deben ejecutarse de modo tal que todos los estamentos involucrados trabajen coordinados, entendiendo cada uno el problema no solo de forma particular, sino que general.

la estabilización vertical que era la más urgente, se procedió a alzaprimar las zonas dañadas para hacer posible una nueva forma de transmisión de las cargas verticales hasta las fundaciones, en una primera instancia con alzaprimas corrientes y, días después, con estructuras de acero especialmente diseñadas que incluían tubos de 300 mm y 200 t de capacidad, sobre un conjunto de vigas de acero que transmitía las fuerzas al radier, haciendo las veces de una fundación.

Para la estabilización horizontal se dispusieron perfiles de acero inclinados capaces de transmitir las fuerzas horizontales que los muros dañados ya no podían tomar. El daño en seis muros en la misma dirección obligó a reforzar con mantas de fibra de carbono muros adyacentes que no tuvieron daños, debido a que una redistribución de cargas ante eventuales réplicas, sobrepasaría la ca-

pacidad de dichos muros.

Para las faenas de levantamiento y recuperación geométrica de la estructura, se diseñaron una serie de elementos metálicos verticales adicionales e independientes a los muros del edificio, sobre los cuales se colocaron unos gatos hidráulicos que permitieron transmitir fuerzas de alrededor de 150 hasta 412 toneladas por punto de aplicación. “Se actuó siempre en tres ejes, donde el central es el eje que determina el objetivo a alcanzar y los gatos hidráulicos de los ejes adyacentes evitaron que estos ejes se colgaran del eje central. También permitió evitar posibles fisuras adicionales por diferencias de deformación vertical. Los gatos hidráulicos eran controlados por un tablero computarizado que también efectúa mediciones de desplazamiento y de presiones. Durante todo el proceso se mo-

nitoreó topográficamente el edificio”, añade Arturo Castillo.

### REPARACIÓN

Sobre la base de diversos criterios, que consideraban las causas de los daños, se determinó reforzar casi la totalidad de los muros hasta el segundo piso y en menor medida en los pisos superiores. “Al ir retirando los recubrimientos y todo material suelto o mal adherido, aparecieron nuevas zonas que debían ser reparadas, las que también disminuían en los pisos superiores”, comenta Castillo. Los refuerzos consistieron en aumentar el espesor de los muros en 12 cm por cada lado. En algunos casos, se aumentó 15 cm por un solo lado, con una cantidad importante de armadura. A su vez, en muchos puntos específicos, se agregó armadura de confinamiento de hormigón. Los materiales utilizados fueron hormigón proyectado, hormigón autocompactante, fibra de carbono y acero. “El desarrollo de tecnología en los materiales permite utilizarlos con absoluta confianza, como es el caso del hormigón autocompactante. La especialización en el tratamiento de este tipo de materiales hace que el resultado sea óptimo, por lo que cualquier iniciativa de la industria en el uso de materiales especiales permitirá masificar su buen uso, no solo en emergencias como en el caso de un terremoto, sino que en el proceso constructivo propiamente tal”, puntualiza Castillo. Finalmente, destaca que “los costos de recuperación de un edificio de esta naturaleza, incluyendo costos de levantamiento, nivelación y construcción de muchos refuerzos significan un valor cercano a un 30 o 35% del costo de construir un edificio nuevo de características similares”.

Es la innovación al servicio de la recuperación y reparación de edificios. Obras de alta complejidad que son resueltas con el desarrollo de la ingeniería en Chile. Otra lección que nos deja el 27F, un avance en el mejoramiento de la construcción. ■

[www.sirve.cl](http://www.sirve.cl); [www.santolayaing.cl](http://www.santolayaing.cl);  
[www.vmb.cl](http://www.vmb.cl); [www.duoc.cl](http://www.duoc.cl)

### ARTÍCULOS RELACIONADOS

- “Aplicación decretos D.S. 60 y 61. Nuevas exigencias”. Revista BIT N° 84, Mayo 2012, pág. 68.
- “Componentes y sistemas no estructurales. Nueva normativa”. Revista BIT N°76, Enero 2011, pág. 20.
- “Vulnerabilidad sísmica. Rehabilitación de estructuras existentes”. Revista BIT N°75, Noviembre 2010, pág. 18.

# Sistema de Postensado Adherido BONTEC-1

Especial para Centros Comerciales, Oficinas, Clínicas, Hospitales y Centros Educativos



## CENTROS COMERCIALES EN EJECUCIÓN:

- Mall Plaza Egaña
- Mall Plaza Los Dominicos
- Ampliación Mall Plaza Oeste

## CENTROS COMERCIALES EJECUTADOS:

- Espacio Urbano Viña del Mar
- Torre 4 Costanera Center
- Portal Ñuñoa
- Centro Comercial Castro
- Plaza Ñuñoa
- Mall La Reina
- Mall Plaza Alameda
- Terminal de Buses y Centro Comercial Puerto Montt
- Paseo San Antonio
- Paseo Costanera
- Nuevos Estacionamientos Mall Plaza Calama
- Nuevos Estacionamientos Mall Plaza Norte
- Plaza El Maule
- Ampliación Mall Plaza El Trébol

Rosario Norte 532, Piso 7 • Las Condes, Santiago, Chile • Fono: (56 2) 571 6700 • Fax: (56 2) 571 6701 • Email: secretaria@vslchile.cl

# LAYHER, ESPECIALISTAS EN ANDAMIOS



“Optamos por Layher como solución de andamios para nuestras obras gracias a la seguridad, versatilidad y respaldo técnico que nos proporcionan.”

► Claudio Maldonado Illanes  
Gerente de Obras  
RVC Constructora Ltda.



[www.layher.cl](http://www.layher.cl)

Layher.

Siempre más. El sistema de andamios.



# READY MIX

Más compromiso. Más soluciones.

## NUESTRO COMPROMISO ESTÁ A LA ALTURA DEL COSTANERA CENTER

Estamos orgullosos de ser parte del proyecto urbano más emblemático de nuestro país, llevando nuestro hormigón a lo más alto de la edificación en Sudamérica.

[www.readymix.cl](http://www.readymix.cl)

# Vivir el progreso.

## Grúas Móviles y Grúas Torre de Liebherr

- Aplicaciones universales y diversas con equipamiento variado, confortable y seguro
- Excelentes capacidades en todas las categorías
- Transporte y uso económico por componentes optimizados
- Servicio técnico, repuestos, consumibles, capacitaciones y asesorías en toda Sudamérica
- Venta de grúas nuevas y usadas directa de fábrica



### Liebherr Chile S.A.

Av. Nueva Tajamar 481, Of. 2103 y 2104

Edificio World Trade Center, Torre Sur

Las Condes, Santiago de Chile

Tel: +56 (2) 580 1499

E-mail: INFO.LMC@liebherr.com

[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# LIEBHERR

**El Grupo**