



GENTILEZA EPI

TERREMOTO EN EL NORTE GRANDE

Características técnicas

Un sismo de magnitud 8.2 con epicentro localizado frente a las costas de Iquique y Pisagua, movilizó a todo el país a principios de abril.

El movimiento de mayor magnitud tras el "27/F" de 2010, puso a prueba los aprendizajes técnicos obtenidos en dicho evento y abrió el debate respecto del "gran movimiento" esperado para esa zona del país.

¿Qué fue lo que se vivió, cuáles fueron sus características?

El informe preliminar de la red de acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile

y el Informe Técnico "Terremoto en Iquique" del Centro de Sismología Nacional, nos darán algunas luces de este movimiento, en el especial que Revista BiT ha preparado sobre las consecuencias y lecciones de este sismo.

ALEJANDRO PAVEZ V.
PERIODISTA REVISTA BIT

PRIMERO DE ABRIL de 2014, cuando en Chile continental los relojes marcaban las 20:46:45 horas, la tierra comenzó a dar indicios de su constante actividad. En ese mismo instante, un sismo de magnitud $M_w=8.2$ (M_w significa "escala sismológica de magnitud de momento") despertaría los fantasmas del pasado e interrumpiría de cuajo la rutina de la población del Norte Grande del país. Con un epicentro localizado, según el Centro Sismológico Nacional, frente a las costas de Iquique y Pisagua, con coordenadas geográficas $19.572^\circ S$ y $70.908^\circ W$ y con profundidad hipocentral de 38.9 km, este terremoto figura en la historia como el mayor ocurrido en Chile desde el 27 de febrero de 2010 y el tercero mayor desde el 22 de mayo de 1960.

Según consigna el informe técnico "Terremoto en Iquique $M_w=8.2$ ", elaborado por Sergio Barrientos del Centro de Sismología Nacional de la Universidad de Chile, "gran actividad precursora ocurrió en la zona epicentral, destacándose aquella ocurrida el 16 de marzo (15 días antes) con un sismo de magnitud 6.7 como también actividad sísmica en los períodos de enero de 2014 y julio-agosto de 2013. La réplica principal, de magnitud 7.6, se ubica inmediatamente hacia el sur de la zona de ruptura asociada al terremoto del 1 de abril. Los mecanismos de foco del sismo principal y sus réplicas más importantes son consistentes con el desplazamiento de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana".

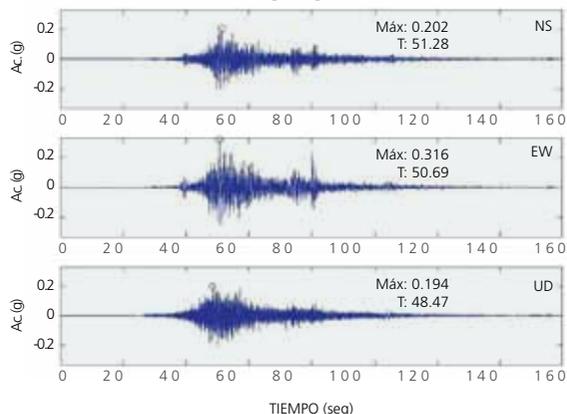
El Departamento de Ingeniería Civil de la

Universidad de Chile mantiene una red de registro de terremotos en la zona norte del país y corresponde a una iniciativa orientada a la comprensión de fenómeno sísmico para el desarrollo de la ingeniería y el diseño sísmico nacional. En su informe preliminar, preparado por los ingenieros estructurales Rubén Boroschek y Pedro Soto y en estudios posteriores realizados con la colaboración del estudiante Joaquín Bilbao, se da cuenta de las características de los registros más importantes obtenidos por la red de investigación del Departamento de Ingeniería Civil. Entre los aspectos relevantes se observa que la aceleración máxima de estos registros fue de 1.1g en Alto Hospicio y de 0.32 g obtenida en Roca en el Hospital de Iquique. De ellos se puede apreciar en términos generales, las características del movimiento que percibió la población con una duración de aproximadamente 140 segundos y un fase fuerte de vibración de al menos unos 45 segundos. "Se observan al menos dos eventos muy cercanos con importantes entregas de energía. La primera considerablemente mayor que la segunda en términos de aceleración", concluye Boroschek.

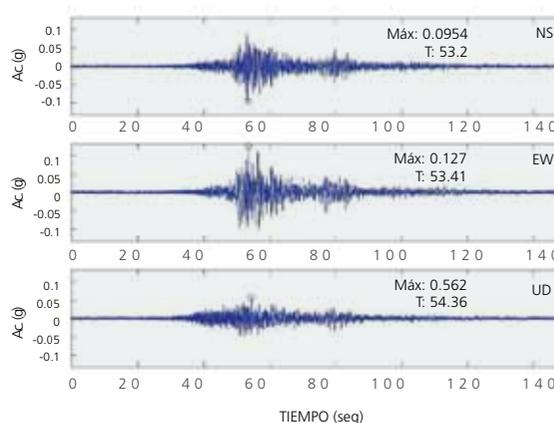
ESPECTRO DE RESPUESTA

Boroschek y Soto definen que el espectro de respuesta corresponde a una herramienta básica que se emplea para evaluar la demanda sísmica o la acción sísmica sobre las estructuras civiles. En este sentido, la normativa chilena establece las fuerzas sísmicas que se deben considerar en el diseño de las estructuras. Las indicaciones para edificaciones de residencia, oficina y comercio están dispuestos

REGISTRO DE ACELERACIONES EN HOSPITAL DE IQUIQUE



REGISTRO DE ACELERACIONES EN PUNTA PATACHE



VALORES EXTREMOS

ESTACIÓN	ACELERACIÓN MÁXIMA HORIZONTAL (G)	ACELERACIÓN MÁXIMA VERTICAL (G)	INTENSIDAD INSTRUMENTAL
Iquique Hospital	0.32	0.21	VII
Pica	0.34	0,23	VI-VII
Punta Patache	0.13	0.06	VI
Arica Cerro La Cruz	0.13	0.09	VI
Mejillones	0.02	0.02	-
Calama	0.02	0.02	-

Registros de aceleración no corregidos y filtrados.

Fuente: Informe preliminar de Boroschek y Soto la red de acelerógrafos del, Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

en la norma NCh433 Of. 96 Mod 2009 y en el Decreto Supremo 61. Según los autores, “la comparación de este espectro normativo con lo demandado por el movimiento en la estación, es un buen indicador de la severidad del sismo, aunque no se pueden relacionar en forma directa”.

En el caso del terremoto del primero de abril, de acuerdo a las mediciones preliminares que figuran en el informe, “los espectros de respuesta es comparable con la demanda elástica establecida en la norma. En las estaciones de Iquique Hospital, se puede apreciar una demanda importante en periodos de 0.5 a 1.5 segundos”.

LAGUNA SÍSMICA

Si bien, plantea Barrientos, la probabilidad de ocurrencia de sismos mayores basada en las secuencias de sismos mayores ocurridos con anterioridad, denominadas “lagunas sísmicas” ha sido fuertemente cuestionada por algunos autores; hay otros que clasifican la zona sur de Perú y norte de Chile como una “laguna sísmica” desde una perspectiva más general en la que no se habían registrado sismos de gran magnitud por más de 100 años.

El documento del Centro de Sismología Nacional, señala que los modelos iniciales de desplazamiento en la zona de acoplamiento asociados a este terremoto indicaron valores de 5 a 7 m de deslizamiento máximo local. La distribución de las réplicas tempranas, indicaron una zona de ruptura del orden de 150 km. Observaciones de deformación de la corteza mediante instrumentos GPS (Global Positioning System) realizadas con anterioridad a la ocurrencia de este sismo, permitieron

establecer el grado de acoplamiento en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamérica. De este modo, “estimaciones preliminares de deslizamiento en la falla indican que el desplazamiento ocurre principalmente en la zona más profunda de acoplamiento. Estas estimaciones indican que no toda la región acoplada se ha activado en esta ocasión, aun faltando por activarse, además de la parte más superficial del contacto, dos zonas: una al norte y otra hacia el sur de la zona de ruptura actual. Ambas zonas (A: Ilo-Cuya y B: Punta Patache-Tocopilla) poseen longitudes similares, por lo tanto se esperaría generasen al menos sismos de aproximadamente el mismo tamaño en el futuro; sin embargo, no se puede descartar otro escenario”.

Más adelante, el informe consigna que lo más probable –dadas las extensiones de las regiones que no se han activado recientemente– es que “las magnitudes esperables serían del orden de 8.1 - 8.2 en cada segmento. No se puede descartar que ambas zonas se activen simultáneamente produciendo un sismo mayor”. Por último, Sergio Barrientos es enfático y concluye su informe indicando que “Chile es un país sísmico y prácticamente cualquier lugar de su territorio puede verse afectado por un sismo significativo. Es por lo tanto nuestro deber como habitantes de este país estar preparados permanentemente para enfrentar las posibles consecuencias que estos eventos puedan producir”.

En este línea, al igual que en 2010, Revista BIT ofrece un especial del Terremoto del Norte Grande, para conocer cómo respondió la construcción, cuáles son las lecciones y posibles soluciones.

www.terremotosuchile.cl; www.sismologia.cl

TERREMOTO NORTE GRANDE

CATASTRO DE DAÑOS Y FALLAS

- Distintos sectores del Norte Grande del país sufrieron el sismo vivido en abril. Un movimiento que dejó en evidencia importantes perjuicios en viviendas, centros comerciales, puertos y rutas.
- A días del terremoto, Revista BiT visitó Iquique para conocer en terreno el comportamiento de la construcción nortina.



PATRICIA AVARIA R.
PERIODISTA REVISTA BIT
ENVIADA ESPECIAL A IQUIQUE

E L 1 DE ABRIL DE 2014 a las 20:46 horas en las regiones de Tarapacá, Arica y Parinacota se produjo un terremoto de una magnitud 8,2° en la escala de Richter. Según informó el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu), “los inmuebles afectados y con severas fallas estructurales contabilizaron un total de 2.635 viviendas, las que pasaron a ser inhabitables”. ¿Intensidad del sismo o calidad de la construcción? De acuerdo a los expertos de la construcción, gran parte de los daños y de las casas perjudicadas, responderían al número de ampliaciones irregulares que se desarrollan con mayor frecuencia en Alto Hospicio e Iquique Sur. A ello, se agregaría el tipo de suelo que, según indican las mediciones, se trataría de suelos salinos, que son dañinamente afectados por el agua (filtraciones).

Las viviendas no fueron las únicas afectadas por el terremoto, también otras estructuras experimentaron daños en diferentes áreas de Iquique. Entre ellas, destaca el puerto y la ruta A-16 (Iquique- Alto Hospicio). Lugares que sufrieron deterioros de gran magnitud, que imposibilitaron el funcionamiento normal de éstas. En su afán de conocer e informar las características técnicas de estas fallas y sus posibles soluciones, a pocos días tras el terremoto, Revista BiT viajó a Iquique con



El suelo salino se trata de suelos arenosos, gravo arenosos o areno arcillosos con presencia de sales solubles en variados porcentajes. Situación que generó asentamientos de viviendas.

Las estructuras severamente dañadas mostraron evidencias de asentamiento por filtraciones de agua en suelo salino.



En el Puerto de Iquique se observan deterioros en los extremos de la obra, tanto a nivel longitudinal como transversal, siendo el costado inmediato al borde de coronamiento o frente de atraque el que presenta los mayores efectos, caracterizados por socavación del terreno.



GENTILEZA EPI



GENTILEZA EPI

En el puerto, se generó una grieta que mide, a la fecha, 25 cm de ancho y su profundidad alcanza los 4 m, según se ha podido medir hasta el momento.

el objetivo de obtener en terreno una visión global de las consecuencias generadas por este terremoto en la construcción del Norte Grande de Chile.

SUELO SALINO

Tras el terremoto, diversos expertos determinaron que una de las posibles fuentes de los daños estructurales que experimentaron las estructuras, dice relación con el tipo de suelo de la ciudad de Iquique. Ramón Verdugo, ingeniero civil de CMGI Ltda. y especialista en geotecnia, quien además estuvo en terreno, explica que —en general— el sector afectado se compone de suelos arenosos, gravo arenosos o areno arcillosos con presencia de sales solubles en variados porcentajes. “Una sal es soluble cuando es capaz de pasar de un estado sólido a uno líquido al entrar en contacto con un solvente para constituir finalmente una solución acuosa. En particular en estos suelos las sales que importan son aquellas que son solubles en agua”, explica.

En Iquique, continúa el experto, la humedad

natural del terreno es baja, lo cual haría que las sales actúen como cementante, generándose así un suelo de alta rigidez y resistencia. “Estos suelos son definitivamente aptos para la construcción de hogares y edificios, siempre que se tenga presente en el diseño de fundaciones la singularidad asociada a la presencia de sales solubles”. Las dificultades estarían más bien relacionadas con el alto costo con que puede resultar la ejecución de excavaciones asociadas a subterráneos, al emplazamiento mismo de las fundaciones o, simplemente, a zanjas para cañerías y alcantarillado. Sin embargo, si el diseño de fundaciones no prevé la presencia de agua, se produce la disolución del apoyo de una estructura generándose asentamientos del terreno que podrían ser de una magnitud capaz de dañar severamente la estructura, como lo fue en el caso de casas de Alto Hospicio.

Consultado por el tipo de obras que se deben construir en este tipo de suelo y en especial en Alto Hospicio e Iquique Sur, Verdugo señala que no existen faenas que mejoren todo el sector. Cada proyecto debe estudiar la mejor opción de acuerdo al tipo de estructura, extensión, cantidad y profundidad de sales solubles. ¿La normativa de suelo es suficiente para prevenir daños? El ingeniero afirma que una norma es un referente que pro-



GENTILEZA EPI



La ruta A-16, presentó fallas de los taludes de aguas arriba, en los sectores con material rocoso, o cementado.



Las principales complicaciones fue el asentamiento de suelo, que produjo grietas importantes y hundimiento de las vías.

EN EL PUERTO, SE PRESENTAN GRIETAS PROFUNDAS QUE PROVOCAN SU SEPARACIÓN DEL MOLO, CON QUIEBRE DE ESTRUCTURAS, FISURAS, INCLINACIÓN Y DESNIVELES.



GENTILEZA EPI

porciona los estándares mínimos que se deben cumplir. En este sentido, la Norma NCh1508 (Geotecnia - Estudio de mecánica de suelos) establece la exploración y ensayos mínimos a realizarse. "A mi entender es responsabilidad del profesional que realiza el estudio geotécnico, indagar sobre las eventuales singularidades de los suelos del área, las cuales debe investigar y utilizar la información de las prospecciones y ensayos para descartar situaciones anómalas y proceder con la mejor solución para el proyecto en particular que esté desarrollando.

Por último, Verdugo cuenta que es necesario recordar que Chile tiene otros suelos de características singulares, como los Trumaos (ceniza volcánica alterada), Maicillos (suelo residual - granito meteorizado), Arenas Licuables (arenas sueltas saturadas), Arcillas Expansivas, Mazacote de Punta Arenas, entre otros. Cada uno de estos materiales obliga al mecánico de suelos a realizar estudios particulares para proponer las soluciones constructivas adecuadas.

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Según el experto, a la hora de realizar un análisis geotécnico para la ejecución de una obra, se debe considerar una exploración mediante sondajes y/o calicatas que cubre la extensión del terreno del proyecto. Esta prospección debe llegar a una profundidad mínima de 30 metros, que requiere la norma de diseño sísmico, la que en algunas oportunidades se realiza mediante métodos geofísicos.

Conocida la estratigrafía del terreno, se lle-

van a cabo ensayos de clasificación, resistencia al corte y deformabilidad. En proyectos en la zona norte de Chile se deben hacer –además– ensayos de contenido de sales solubles a diferentes profundidades para establecer el perfil de salinidad del terreno. De comprobarse la existencia de contenidos de sales solubles (sobre el 3%), es de gran utilidad la ejecución in-situ de un ensayo denominado placa de carga. Esto es, la colocación de una placa rígida de acero a nivel de sello de fundación y se carga hasta la tensión de trabajo estimada de las fundaciones. Tras ello, se inunda el terreno alrededor de esta placa y se mide el asentamiento que se produce. Es común, indica Verdugo, que una vez estabilizado el asentamiento se apliquen algunos golpes a la placa y se mida el asentamiento adicional. Los resultados permitirían establecer el nivel de asentamiento esperable en el terreno en particular ensayado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se procede con la proposición de los parámetros geomecánicos para el diseño de fundaciones, taludes y muros de contención (de existir estos últimos). Además, se propone la alternativa de solución que permita evitar los eventuales asentamientos por disolución de sales, de existir éstas.

RUTA A- 16

Uno de los sectores deteriorados por el terremoto fue la Ruta A-16, carretera que conduce a Alto Hospicio hacia la Ruta 5. Allí, las principales complicaciones se generaron debi-



Casa con serio daño estructural y evidencia de asentamientos previos por presencia de agua.



do al asentamiento del suelo que produjo grietas importantes y hundimiento de las vías. Situaciones que se provocaron por estar ubicadas en zonas arenosas de dunas. También, hubo derrumbes en sectores que no estaban fortificados en la parte más baja de la ladera, adyacente al cerro, donde algunos de estos sufrieron deformaciones importantes, producto del asentamiento de terraplenes. Los daños de la ruta significaron cortes en sectores puntuales, no permitiendo su uso en su totalidad. "A esta fecha se tiene tránsito permanente, pero restringido a tres pistas de circulación con gestión de subida y bajada, con trabajos de reparación en ejecución, para poder recuperar ambas calzadas en un plazo máximo de 8 meses", informa Mario Fernández, director nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

El sector más complejo es el que va desde la rotonda El Pampino hasta el cruce Línea Férrea, son aproximadamente 2,5 kilómetros en los cuales hay deformaciones por descenso de terraplenes, incluso algunos mayores a 50 cm

¡Form-Scaff se cambia de casa!

Pensando en sus clientes, Form-Scaff Chile se ha cambiado de casa. La nueva dirección, en la puerta sur de Santiago, nos permite mejorar la conectividad, los tiempos de viaje y la atención final a nuestros clientes. Una planta nueva, hecha especialmente para el propósito, nos permite mejorar en seguridad, disponibilidad y con mejor trabajo en equipo de cara a la atención.



www.formscaff.cl / info@formscaff.cl



Otra falla fue el trabajo de juntas de dilatación, las que al no acusarse en muros y pisos de pasillos de conexión generaron grietas en estos, desprendimientos de cerámicas entre otros.

con una longitud de hasta 300 metros. Desde la Línea Férrea hacia Alto Hospicio, en la calzada oriente, hubo derrumbes que fueron limpiados en su oportunidad para dar flujo por una pista, pero que igualmente requiere trabajos de recuperación, con mallas que serán recolocadas aumentando la fortificación de las mismas. “También en la calzada de bajada de este tramo, hubo algunos derrumbes que fueron limpiados y se registraron asentamientos diferenciales en sectores puntuales, lo cual, obviamente, no permitía usar la ruta en las dos vías”, afirma Fernández.

Dichos daños mantienen colapsada la conectividad de ambos sectores, aunque ya están es proceso de mejoramiento de la carretera que involucrará contemplar mallas de hormigón pretensado sobre las laderas del cerro, con el fin de otorgar seguridad a los

usuarios ante posible caída de material. El objetivo del plan de trabajo, es restaurar las carpetas asfálticas; no solo para agilizar el tránsito, sino que también para habilitar dichas pistas como adicionales para permitir a las maquinarias realizar la labor de recuperación en forma más expedita, por lo que a su vez el tránsito podría verse afectado en ciertas ocasiones producto de la ejecución de las obras.

Respecto a lo anterior, el director nacional de Vialidad del MOP, cuenta que también se está haciendo un diseño sísmico para fortificar los sectores que sufrieron daños, porque aquellos que ya estaban fortificados o que se habían reparado producto del terremoto anterior, no tuvieron ningún problema y, en general, no fallaron. “Entonces, hay que continuar con la fortificación del resto de los taludes y además fortificar los terraplenes

EDIFICIO PABLO NERUDA CONSTRUCCIÓN DE MARCO RÍGIDO (PILAR-VIGA) CON DAÑOS ESTRUCTURALES PRINCIPALMENTE ANTEPECHOS.

que están volviendo a su condición original, para lo cual se contará con el diseño sísmico ad-hoc.” Por otro lado, Ramón Verdugo indica que es de vital importancia que los profesionales calificados analicen los resultados del seguimiento de deformaciones que se está llevando a cabo, debido a lo sensible que resulta el corte de este camino para la conectividad de Iquique-Alto Hospicio-Ruta 5.

PREVIO AL TERREMOTO, EL TERRENO HABÍA SIDO EXPUESTO A DISOLUCIÓN DE SALES, LO CUAL PODRÍA SIGNIFICAR QUE PARTE DEL TERRENO ESTABA EN UNA CONDICIÓN DE INESTABILIDAD, QUE LA ACCIÓN SÍSMICA TRADUJO EN ASENTAMIENTOS ADICIONALES DEL TERRENO, GENERÁNDOSE ASÍ UNA COMPLEJA COMBINACIÓN DE SOLICITACIONES EN LAS ESTRUCTURAS AFECTADAS.

DAÑOS EN VIVIENDAS

En cuanto a las viviendas, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) realizó un catastro de los principales daños. El resultado arrojó que 2.635 viviendas quedaron inhabitables en ocho comunas de las regiones de Arica - Parinacota y Tarapacá, de ellas, cuales 847 fueron declaradas como irreparables y 1.788 como posibles de reparar. Existen otras 5.001 viviendas con daños menores en ambas regiones, pero que están en condición de ser habitadas y reparadas. Para llegar a estas cifras, el Minvu encuestó un total de 16.514 viviendas, en las dos regiones, ocho comunas y 62 sectores.

La Cámara Chilena de la Construcción de Iquique detectó que la mayoría de las viviendas unifamiliares dañadas se ubican en la zona sur de Iquique y en Alto Hospicio y que los problemas se presentaron principalmente en viviendas modificadas o con ampliaciones irregulares. Los edificios en altura de hormigón armado, según el catastro, tuvieron un buen comportamiento de su estructura presentando en algunos casos daños irrelevantes.

Manuel Brunet, ingeniero civil y coordinador técnico de Gerencia de Estudios de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), cuenta que "existen ampliaciones colindantes a la vivienda original, segundos pisos sobre la vivienda y en algunos casos volúmenes en voladizo apoyados en muros medianeros. El tipo de daño en algunos casos fue solo en la ampliación, manteniéndose la estructura original en buen estado, mientras que en otros casos la extensión se desestabilizó y afectó la vivienda original".

En ese plano, el Minvu recomienda ceñirse a las normas técnicas en esta materia, que se debe informar por la Dirección de Obras Municipales de la respectiva comuna, factor esencial que determina el procedimiento a seguir y la seguridad y consistencia constructiva de las obras efectuadas.

Otra falla que se detectó en las viviendas y que generó problemas fue el trabajo de juntas de dilatación, las que -al no acusarse en muros y pisos de pasillos de conexión- generaron grietas, desprendimientos de cerámicas, entre otros. Una situación que en los primeros momentos generó en los habitantes la idea que el edificio se habría partido y era inhabitable.

En cuanto a la generación de socavones en las casas construidas en Alto Hospicio, Ramón Verdugo afirma que la producción de grandes oquedades no es algo común. "De hecho durante la visita técnica junto a una comitiva de la CChC, no se encontró ningún socavón. La gente hablaba de que había socavones en algunas poblaciones, las cuales se fue a investigar expresamente por esta situación, pero solo se constató la existencia de importantes asentamientos o descenso del terreno, que claramente afectó las estructuras, pero no habían grandes oquedades o socavones". Aun así, destaca que su existencia es posible, para esto se requiere la concurrencia de al menos de dos hechos: un sector con alto contenido de sales solubles y un prolongado flujo de agua que fuese sistemáticamente disolviendo las sales.

Asimismo, Brunet explica que otra falla recurrente pero esperada en un sismo de esta magnitud, son las grietas en uniones de muros con tabiques dada la diferencia de rigidez de los elementos y la falta de dilatación entre tabiques, cielos y otros elementos secundarios. Por otro lado, cabe destacar que, en décadas anteriores, en Iquique se construían edificios con estructuración de marco rígido (pilar-viga). "Si bien existen edificios con daños estructurales, la mayoría se encuentran en elementos de relleno, principalmente antepechos, menoscabos que a la vista de personas no expertas generan una idea de colapso de la edificación, por ejemplo el edificio Pablo Neruda", afirma el experto de la CChC. Adicionalmente,



GRIFERÍA EFICIENTE 30 - 50% AHORRO



¡EXIJA FLEXIBLES CERTIFICADOS ANTI-CORROSIÓN NCH 3182 !

TENDER...
diseño especial





SE OBSERVÓ EL COLAPSO DE MUROS DE TIERRA ARMADA, EJECUTADO EN BASE A ESCALERILLAS DE FIERRO DE CONSTRUCCIÓN. LAS BARRAS SE APRECIARON CON UN ALTO GRADO DE OXIDACIÓN Y EVIDENTE DISMINUCIÓN DE SU SECCIÓN, PUDIÉNDOSE EXPLICAR EL COLAPSO POR ESTE MOTIVO.



se observó el colapso de un muro de tierra armada, ejecutado en base a escalerillas de fierro de construcción. Las barras se observaron con un alto grado de oxidación y evidente disminución de su sección, pudiéndose explicar el colapso por este motivo.

Desde un punto de vista geotécnico, las estructuras severamente dañadas mostraron evidencias de asentamiento por filtraciones de agua. Se estima que la utilización de estructuras de albañilería armada, que pueden considerarse sensibles a los asentamientos, no es del todo recomendable en suelos salinos, salvo que se tomen las medidas correspondientes que eviten la presencia de agua que pueda disolver sales y generar asentamientos.

Consultado por las fallas en fundaciones, Ramón Verdugo cuenta que no se experimentaron. Las viviendas y edificaciones que quedaron con daño severo por el terremoto, en su gran mayoría, presentaban antecedentes previos de haber sido afectadas por asentamientos del terreno ocasionado por la presencia de agua. Las fuentes de agua habían sido diversas: filtraciones de la red de agua potable, filtraciones de la red de alcantarillado, camiones aljibes, grifos, entre otros. "Es decir, previo al terremoto, el terreno había sido expuesto a disolución de sales, lo cual podría significar que parte del terreno estaba en una condición de inestabilidad, que la acción sísmica trajo en asentamientos adicionales del terreno, generándose así una compleja combinación de sollicitaciones en las estructuras afectadas", explica Verdugo.

PUERTO DE IQUIQUE

El Puerto de Iquique, construido entre los años 1928 y 1932, cuenta actualmente con dos frentes de atraque, cada uno compuesto por dos sitios, distribuidos en un molo de abrigo y un espigón, ambos de penetración al mar. De acuerdo a cómo fue construido, el molo de abrigo, con un total de 810 metros, está conformado por muros gravitacionales de bloques de hormigón de 60 toneladas aproximadamente. Uno de estos muros lo conforma el rompeolas, muro exterior lado mar, y el otro corresponde a los sitios o frentes de atraque 1 y 2 y la zona de atraque de pesqueros. Los bloques de hormigón se apoyan en pedraplenes de rocas (prismas de enrocados) de altura variable a medida que se profundiza el fondo marino, cuyos pesos de las rocas fluctúan entre 60 y 1.800 kg aproximadamente. El prisma de enrocado en el sec-

tor profundo del Molo de Abrigo, se encuentra, además, protegido por rocas mayores a 1.800 kilogramos. Entre ambos muros gravitacionales, es decir, en el interior de ellos, existen rellenos de material rocoso de distintos tamaños. Estas áreas comprenden las explanadas de acopio de carga y apoyo a las faenas de des/embarque de naves.

Tras el terremoto, el molo de abrigo del Puerto de Iquique cambió su imagen por algunos daños. Principalmente, se observan deterioros en los extremos de la obra, tanto a nivel longitudinal como transversal, siendo el costado inmediato al borde de coronamiento o frente de atraque, que presenta los mayores perjuicios, caracterizados por socavación del terreno.

El muro rompeolas considera deterioros leves, como algunas fisuras y posiblemente un leve desalineamiento en su sector central, que no afectaría su función y estabilidad. En cuanto al muro norte, presenta grietas profundas que provocan su separación del molo, con quiebre de estructuras, fisuras, inclinación y desniveles. "Sin duda la estructura ha cambiado su condición de diseño, sus rellenos, apoyos y centro de gravedad lo que la mantendría sometida a esfuerzos permanentes, incrementando el riesgo de colapso. Su situación es gravísima con mínimas posibilidades de recuperación", cuenta a Revista BIT Alfredo Leiton, gerente general de Empresa Portuaria Iquique (EPI).

Por otro lado, el cabezal constituye grietas profundas que provocan su separación del molo, con quiebre de estructuras, fisuras y desniveles. Esta situación podría haber provocado cambios en su centro de gravedad, lo que mantendría su estructura sometida a esfuerzos permanentes, incrementando también el riesgo de colapso. La grieta en cuestión media, a la fecha en que Revista BIT la visitó, 25 cm de ancho con una profundidad de 4 metros. "Su situación es gravísima, con riesgo de colapso y con mínimas posibilidades de recuperación", afirma el ejecutivo.

En cuanto al muro frente de atraque, el ejecutivo cuenta que el borde de coronamiento aparentemente se encuentra alineado, sin fisuras ni grietas, cajones mantienen horizontalidad, sin desniveles y aparentemente en condiciones normales, sin riesgo de colapso.

El sector B del puerto (desde la bita 7 hasta la 4), el borde de coronamiento, presenta un grado de desalineamiento con desniveles y fisuras, todos de intensidad de mediana a grave. No se perciben grietas. En cambio el sector C (desde la bita 4 a la 1) el borde de coronamiento presenta una inclinación con desniveles, grietas y fisuras, todos de condición muy grave. La estructura ha cambiado su condición de diseño, sus rellenos, apoyos y centro de gravedad lo que la mantendría sometida a esfuerzos permanentes, incrementando el riesgo de colapso.

En cuanto al puente de acceso, que constituye la vía de conexión del recinto portuario con las áreas de respaldo y sitios de atraque 1 y 2, presenta daños por desniveles y grietas, los que se acentúan en la medida que se aproximan al sector norte de la planta pesquera, los que se estiman entre leves y medianos. Para la reparación de molo, el ejecutivo afirma que aún se están realizando estudios para afinar el diagnóstico y diseñar las mejores opciones de solución. "Se está avanzando con urgencia", advierte.

Respecto al terminal 2, sitios 3 y 4, concesionado en 2000 a la empresa Iquique Terminal Internacional S.A. (ITI), Leiton cuenta que se encuentran en buenas condiciones y funcionando normalmente, ya que en 2011 se realizó un reforzamiento de protección sísmica de la estructura, consistente en la colocación de elementos postensados que consiguieron que el muro trabajase conjuntamente, a diferencia del frente 1, en el que los bloques actuaron en forma aislada y, por ende, se produjeron desplazamientos entre ellos. Asimismo, el sitio 4, construido en 2005, consiste en un muelle transparente (sobre pilotes) que soportó el sismo sin problemas.

En términos generales y según coinciden los expertos, las grandes lecciones dejada por este terremoto, se relacionan con la necesidad de profundizar el estudio de los suelos al momento de proyectar una obra en estos terrenos, buscar soluciones que aseguren minimizar el riesgo de contacto con agua y mediante fiscalización municipal impedir la autoconstrucción o ampliaciones que no presenten un proyecto y obtengan el permiso correspondiente. ■

UNA SOLUCION para cada necesidad...

OSB ESTANDAR

- Panel Térmico Estructural.
- Para cara interior o exterior.
- Gran resistencia a los impactos.
- Certificación APA.

SMARTSIDE

- Panel Térmico Estructural.
- Para terminación interior o exterior.
- Gran resistencia a los impactos.
- No requiere revestimiento.
- Certificación APA.

TECHSHIELD

- Panel Térmico Estructural.
- Para losa y techumbres.
- Gran resistencia a los impactos.
- Refleja el 97% de radiación térmica.
- Certificación APA.



Avda. Américo Vespucio Norte 2235
Vitacura - Santiago

Fonos: (562) 2242 2800
(562) 2242 2801



www.termocret.cl

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

RECOMENDACIONES PARA LA REPARACIÓN ESTRUCTURAL

■ El terremoto del Norte Grande causó importantes daños estructurales en viviendas e infraestructuras. Un problema que hoy presenta una serie de soluciones. Existen diversas alternativas para recuperar o reforzar estructuras que, tras el sismo de 2010, fueron aplicadas en diferentes obras dañadas obteniendo resultados positivos. Una experiencia que se podría replicar.

PARA ENFRENTAR Y RESOLVER con el máximo de seguridad las fallas estructurales producidas por el terremoto del Norte Grande y en especial en las viviendas e infraestructuras de Iquique Sur y Alto Hospicio, existen diversos desarrollos relacionados con sistemas y materiales de reparación tanto para la albañilería, como para el hormigón.

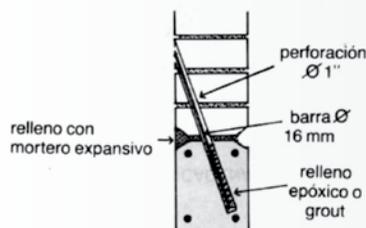
En el marco del seminario "Reparación y Refuerzo Estructural: Terremoto en el Norte, Impactos y Desafíos", organizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, Carlos Henríquez, jefe desarrollo comercial Refurbishment de Sika Chile señaló que antes de realizar cualquier reparación es importante que se debe pasar por tres etapas, evaluación, diagnóstico y finalmente plan de reparación. "La experiencia de quién aplica los productos de reparación es clave, pues debe tener las competencias técnicas para hacerlo de acuerdo a las recomendaciones del producto; de lo contrario, no se obtendrá el efecto esperado. Por esto mismo, se están realizando actividades de capacitación, que involucran desde el usuario doméstico, hasta contratistas y constructoras de la zona", detalló.

Tras el terremoto de 2010, estas soluciones fueron utilizadas obteniendo positivos resultados. En la ocasión, Revista BIT (N° 73) presentó las diferentes alternativas que se podrían aplicar para la restauración de daños en la albañilería y en el hormigón. Experiencias que también podrían ser replicables en las estructuras afectadas del Norte Grande. Una solución, claro está, que debe ir de la mano de un diagnóstico y una ejecución de expertos.

PATRICIA AVARIA R.
PERIODISTA REVISTA BIT
ENVIADA ESPECIAL A IQUIQUE

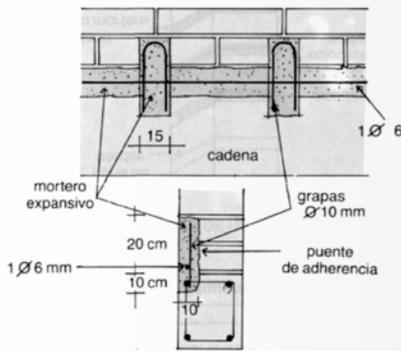
SOLUCIONES PARA LA ALBAÑILERÍA

Los daños que tuvieron las viviendas de Iquique y Alto Hospicio, fueron principalmente por las ampliaciones irregulares, las que según expertos del rubro, estas no se construyeron en base a la normativa, ni tampoco siguieron los procedimientos para su instalación. A continuación algunas recomendaciones para la reparación de albañilerías.



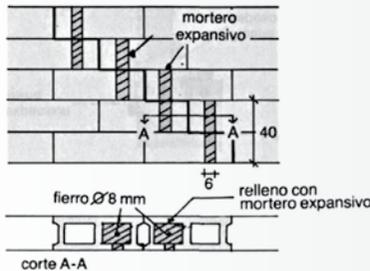
ANCLAJES: Mejoramiento del anclaje de albañilerías al hormigón armado. Albañilerías "seltas", agrietadas o mal adheridas en la unión con el hormigón armado.

- Practicar perforaciones inclinadas abarcando la albañilería y cadena o pilar de hormigón armado (diámetro de la perforación: 1").
- Rellenar con sistema epoxi para anclajes o grout de cemento con aditivo expansor.
- Insertar barra Ø16 mm, o según indicación calculista.
- Repetir según distancias especificadas por proyectistas.
- Picar grieta en forma de V con profundidad de 5 cm por cada lado y rellenar con mortero expansivo. Curado húmedo por 7 días.



GRAPADO: Similar a la reparación anterior.

- Picar unión de la albañilería con el hormigón (aprox. 10 x 10 cm).
- Picar espacio para la ubicación de grapas (30 x 15 x 10 cm).
- Colocar barra \varnothing 6 mm a lo largo de grietas y grapas \varnothing 10 mm y L = 50 cm en cada llave.
- Aplicar puente de adherencia epóxico.
- Rellenar con mortero expansivo.
- Curado húmedo por 7 días.



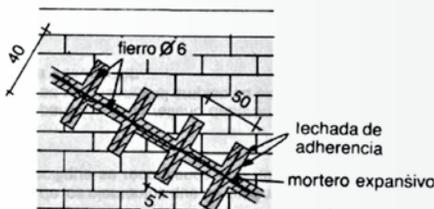
PARA ALBAÑILERÍAS DE BLOQUES: Reparación de grietas en canterías y refuerzo parcial: Para reparar muros de bloques de mortero y refuerzo interno parcial.

- Picar cantería agrietada y rellenar con mortero expansivo.
- Cortar con disco canales ubicando los huecos de los bloques. Los canales deben ser de 6 cm de ancho y una altura de 20 cm a cada lado de la grieta (mínimo).
- Colocar hierro \varnothing 8 mm centrado en hueco mediante polines \varnothing 6 mm.
- Rellenar con mortero expansivo.



REPARACIÓN DE GRIETAS: Se debe reconstituir el monolitismo de la estructura

- Picado a lo largo de la grieta y/o cantería, sólo por un lado.
- Aplicación de lechada de adherencia en base a emulsión acrílica.
- Relleno con mortero expansivo.
- Curado húmedo cuidadoso.
- Repetir la operación por el lado opuesto.



REPARACIÓN POR GRAPADO: Para reconstituir el monolitismo y refuerzo parcial.

- Picado en V a un lado, a lo largo de la grieta (dimensiones app de 5x5 cm ó 7x7cm).
- Picar transversalmente a la grieta ranuras de 40x5 cm, cada 50 centímetros
- Colocar armadura longitudinal y transversal, según indicación del proyectista.
- Aplicar lechada de adherencia.
- Rellenar con mortero 1:3 con expansor o mortero predosificado.
- Repetir por el otro lado, traslapando el grapado.

SOLUCIONES PARA EL HORMIGÓN

Por otro lado, existen diversas alternativas para obtener un nivel de seguridad estructural mayor al original. Por ejemplo, el aumento de la resistencia y/o ductilidad de elementos mediante encamisados de hormigón, adición de pletinas metálicas o sistemas exteriores de fibra de carbono y diagonales de acero.

SISTEMAS FRP

Los sistemas FRP (Fiber Reinforced Polymer) consisten en elementos resistentes en base a fibra de carbono, vidrio o aramida, esta última es más utilizada para fuerzas de impacto, en especial en estructuras de entrenamiento militar. Van embebidos y/o adheridos en base a una matriz polimérica, por lo general epóxica. Crece su aplicación en construcción como veremos en las fibras de Carbono y de Vidrio.

■ FIBRA DE CARBONO

El origen de la fibra de carbono se remonta a fines del siglo XIX, por Thomas Edison para uso en electricidad. Solo a mediados del siglo XX aparecieron las fibras de alta resistencia a tracción. Desde ese entonces, han sido utilizadas para aplicaciones diversas, desde aeronáutica hasta prótesis ortopédicas, afirman desde Sika. Fue en la década del '70 cuando aparecieron en construcción las primeras guías de diseño asociadas a sistemas FRP (polímeros reforzados con fibras). Sin embargo, recién a mediados de la década del '90, se observaron las primeras aplicaciones en América Latina y Chile.

A pesar que los sistemas FRP tienen diferencias, en general las fibras de carbono poseen una densidad de 1.700 kg/m³, representando alrededor de un 20% de la densidad del acero (7.850 kg/m³). "Esto entregaría ventajas en transporte e instalación y una resistencia de cerca de 40 mil kg/cm², representando 9,5 veces la resistencia de las barras de refuerzo de acero", afirma Carl Lüders, socio fundador de Sirve, entrevistado en la edición de 2010. Asimismo, se ha demostrado que resistiría esfuerzos cíclicos durante períodos largos, sin fallas de fractura por fatiga.



Refuerzo de fibra de carbono para el corte y flexión de vigas.



Refuerzo estructural para confinamiento de pilar.

Asimismo, la fibra de carbono desarrollaría “el confinamiento de columnas, refuerzo a flexión y corte de vigas de hormigón armado, el refuerzo al corte de muros de hormigón armado y el refuerzo a flexión de losas, entre otras aplicaciones”, señalaron Tecnoav S.A., que distribuye e instala en Chile el sistema de fibra de carbono Tyfo® Fibrwrap® ejecutados por Fibrwrap Chile S.A. Pero hay más. “Un hormigón confinado con refuerzos de FRP externos exhibe un aumento de su comportamiento a compresión, donde la capacidad de sustentación de carga puede prácticamente duplicarse, mientras que la de deformación puede aumentar hasta 10 veces”, destacan desde la empresa Basf Construction Chemicals.

Hay de todo en materia de sistemas de refuerzo FRP, en base a fibra de carbono. Están las pletinas de fibra de carbono, los tejidos y también los sistemas preesforzados, estos últimos aún no aplicados en el país.

También está MBrace® un sistema mixto, estructurado con fibra de carbono y compuesto de dos elementos: la matriz polimérica cuya función es mantener las fibras que la estructuran, cohesionadas, propiciando la transferencia de las tensiones de corte entre los elementos estructurales, hormigón y fibra de carbono. Y el elemento estructural, constituido por fibra de carbono. Otra alternativa es Tyfo UC® de Tecnoav, sistema que ofrece variedad de pletinas de fibras de carbono en anchos de 2 a 6 pulgadas, con diferentes módulos de elasticidad según sea el diseño requerido y en espesores de 1,2 milímetros.

Por otro lado, están los refuerzos con tejidos de fibra de carbono que, a diferencia de las pletinas, son paños que se adaptan a cualquier geometría y se aplican en estructuras de hormigón de grandes dimensiones como puentes y muelles. Sika Chile cuenta con la línea Sika Wrap®, en la que se destacan los tejidos de fibra de carbono, aramida y vidrio.. Los sistemas postensados presentarían el mayor grado de innovación en esta área. Consisten en pletinas de fibra de carbono que consideran sistema de anclaje en los bordes y, además, son adheridas a la estructura mediante epóxico. Inmediatamente después de la aplicación del epóxico, las pletinas son tensadas, de manera de evitar que haya tensiones residuales en el epóxico, con la ventaja de

EXISTE UNA GRAN VARIEDAD EN MATERIA DE SISTEMAS DE REFUERZO FRP, EN BASE A FIBRA DE CARBONO. ESTÁN LAS PLETINAS DE FIBRA DE CARBONO, LOS TEJIDOS Y TAMBIÉN LOS SISTEMAS PREEFORZADOS, ESTOS ÚLTIMOS AÚN NO APLICADOS EN EL PAÍS.



GENTILEZA TECNIVAV

Refuerzo de vigas y pilar.

soportar la tracción de la pletina mediante la adherencia al hormigón y el anclaje en los extremos.

■ FIBRA DE VIDRIO

Consiste en un sistema de refuerzo estructural en base a fibras de vidrio que se impregnan con resinas de alta calidad para formar un laminado, que se adhiere externamente al elemento que será reforzado. Permiten, uniendo su resistencia a la tracción y adaptabilidad a distintas formas arquitectónicas, junto al desarrollo de resinas epóxicas, resolver numerosas tipologías de daños. Algunas de las aplicaciones de la fibra de vidrio:

En columnas: Se utiliza en columnas dañadas por grietas de origen mecánico o corrosión, complementándose con inyecciones epóxicas. Permite, en la mayoría de los casos, preservar la forma arquitectónica de la columna sin afectar significativamente las cualidades y dimensiones originales. Además, el proceso no modifica su rigidez, sin alterar la distribución de las fuerzas sísmicas de diseño. En esa línea, el sistema de lámina de vidrio MBrace® EG900, de Basf, es capaz de aumentar la resistencia y ductilidad en columnas de hormigón y proporciona confinamiento y resistencia adicional a las conexiones de hormigón, entre otras propiedades.

En vigas y muros: En daños en muros de corte como grietas diagonales, que normalmente se reparan de forma de restablecer su capacidad original. El uso de fibras

de vidrio permite no solamente lograr este objetivo sino, además, incrementar su resistencia al corte sin modificar su geometría. Lo mismo ocurre en vigas donde han aparecido grietas o fisuras por corte.

Tecnología en hormigones y morteros: La tecnología del hormigón y morteros presenta importantes desarrollos. En esa línea Melón Hormigones introdujo Fluida, gama de hormigones y morteros premezclados autocompactantes. Un ejemplo concreto de su aplicación se realizó en un edificio afectado por el terremoto de 2010, donde fue necesario reparar y reforzar los muros de niveles inferiores. Particularmente en este caso, un muro dañado de 20 cm de espesor se repara en su zona afectada junto con reforzarlo mediante el aumento de su sección. En morteros, Dry Mix, filial de Cementos Bío Bío presenta el Hormigón Ultra Rápido que destaca por desarrollar altas resistencias a cortas edades, permitiendo el tránsito a las dos horas de su aplicación, características que lo convierten en un producto ideal para reparación de pavimentos que requieran una rápida puesta en servicio, y montaje de maquinarias y estructuras en pocas horas. Actualmente se está utilizando en el Metro de Santiago para la fabricación de las bases o fundaciones de los durmientes de las vías.

Soluciones que perciben en el tiempo y que no dejan de estar fuera del rubro de la construcción, ya que han demostrado ser eficientes en estos casos de catástrofes y en general. ■

CUBIERTAS

- TEJAS DE HORMIGÓN
- TEJAS FIBROCEMENTO
- TEJAS ASFÁLTICAS
- TEJAS DE ARCILLA

REVESTIMIENTOS

- TEJUELAS FIBROCEMENTO
- SIDING FIBROCEMENTO



TEJAS DE CHENA



CELTIC®



NORTHWAY®

SHOWROOM
 Av. Nueva Costanera 4269
 Vitacura - Santiago
 Tel.: (02) 238120 70 - (02) 238120 71
 ventas@tejasdechena.cl
 www.tejasdechena.cl

