

Los Desafíos de las C

EL CIELO ES EL LÍMITE

Muy pronto la postal de Santiago como la conocíamos hasta ahora cambiará. Dos megatorres en el sector oriente se levantarán con alturas nunca antes vistas en Sudamérica, dando inicio a una nueva era de construcciones de hormigón en altura donde tanto el IDIEM como académicos de nuestra Facultad se han involucrado desde sus cimientos.



Duplicar la altura de los edificios que se han construido en Santiago es todo un desafío para la ingeniería nacional. Un reto que ha llevado a especialistas de Ingeniería Civil de la FCFM a replantearse las estructuras tradicionales que hasta ahora recortan el cielo de nuestra ciudad para dar con las soluciones apropiadas que asegurarán la estabilidad de estos nuevos gigantes.

"El *Chilean Building* -como se conoce internacionalmente al edificio de muro de hormigón armado que se construye en nuestro país- fue probado en el terremoto

del año 85 y resultó ser exitoso", explica el académico del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM, Rodolfo Saragoni, "pero la nueva generación de edificios que se está haciendo, de marco de hormigón armado, no corresponde a las estructuras que probamos en ese entonces", agrega el ingeniero, quien está a cargo de la asesoría sísmica de ambas megatorres: Torre Costanera, de 300 metros y 60 pisos (la más alta de Sudamérica) y Titanium La Portada, de 192 metros y 52 pisos.

Ante este escenario, el desafío de garantizar la seguridad de ambas construcciones es

Construcciones en Altura:



mucho mayor, pues son las primeras en nuestro país en llegar a semejante altura (el edificio más alto en la actualidad es el Hotel Marriott, con 145 metros), y posiblemente las primeras en el mundo en levantar tantos pisos a base de hormigón armado.

"Acá tenemos experiencia con edificios altos de hormigón hasta de 40 pisos, pero pasar de eso a 60 es un salto muy grande. Normalmente, edificios de esa altura se hacen en acero o en estructuras compuestas. Pero nuestro país no tiene experiencias en acero en el sector inmobiliario. Además, la norma chilena de edificios está calibrada

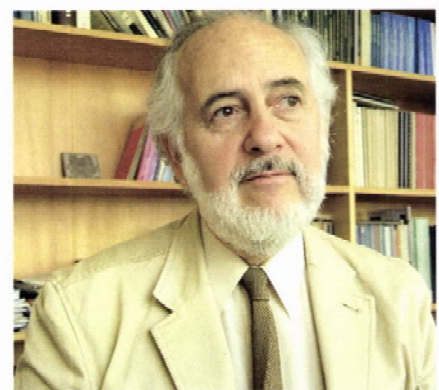
para edificios de hormigón, por lo tanto, si se trata de diseñar una estructura de acero bajo esa norma se vuelve una tarea muy compleja. En el mundo no existen experiencias similares en altura con este material, salvo las Torres Petronas de Malasia, pero esas no están en zona de sismicidad alta. Yo diría que estas nuevas torres de Santiago serán las más altas del mundo en hormigón", señala Ricardo Herrera, especialista en diseño sísmico en acero del Departamento de Ingeniería Civil.

De todas formas, el tipo de hormigón que se utilizará en estas estructuras posee características especiales: "Se están usando

hormigones de alta resistencia que no se habían usado nunca acá. Normalmente en un edificio se usa hormigón H 30 ó H 40 -que entrega 300 y 400 kilos por centímetro cuadrado de resistencia, respectivamente- y nosotros estamos usando H 70, que es más duro, más rígido y se deforma menos. Esto es indispensable para que las dimensiones de columnas y muros sean del tamaño mínimo posible para que no ocupen área útil que podría ser rentable", explica René Lagos, calculista del Costanera Center y profesor del Departamento de Ingeniería Civil.

Fernando Yáñez, Director del IDIEM, cree que es muy difícil que en nuestro país el hormigón sea reemplazado por otro tipo de materiales. Principalmente porque los edificios chilenos, al ser antisísmicos, son más caros y el hormigón es una alternativa a bajo costo que se acomoda a las necesidades de nuestro territorio.

En estas nuevas construcciones el IDIEM, como el centro de ingeniería con mayor



Rodolfo Saragoni, académico del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM.



Fernando Yáñez
director IDIBM.

experiencia y trayectoria del país, ha estado presente con sus tres principales servicios de asesoría: mecánica de suelos, certificación de hormigones e inspecciones técnicas. "En todos los edificios emblemáticos que existen hoy día estamos presentes. No hay ninguna obra importante en la que no participemos", apunta el Director de este instituto cuyo alcance en la construcción es tal, que en la Región Metropolitana certifican el 80% del hormigón que está en el mercado.

PRIVILEGIAR EL ESPACIO

Esta nueva generación de edificios no sólo rompe con las estructuras tradicionales por su elevada altura, la forma cómo se distribuyen los espacios en su interior también plantea nuevos desafíos a su diseño. Porque si antes se privilegiaban las divisiones interiores, lo que permitía colocar muchos muros, ahora la tendencia para las construcciones residenciales y sobre todo para las oficinas es crear plantas libres donde se privilegia la movilidad de los usuarios. "El sistema WI-FI ha cambiado notablemente el uso de las oficinas actuales, la gente se mueve para todos lados con su computador. El concepto ahora es que se trabaje en oficinas muy pequeñas separadas por mamparas, con salas de reuniones para recibir a la gente. Ese nuevo concepto hace que uno no pueda rigidizar un edificio con muros", afirma Saragoni.

Las necesidades de los arrendatarios de estas oficinas exigen un diseño que cumpla con estándares internacionales, lo que también implica que la altura de los pisos sobrepase con creces las dimensiones tradicionales. Según los expertos, Torre Costanera podría haber tenido 80 pisos en vez de 60, pero se privilegió la construcción de oficinas por sobre los 4 metros de altura para satisfacer los requerimientos de los usuarios.

"El gran problema de estos edificios altos es el desplazamiento lateral, es decir, la oscilación que tiene la estructura de lado a lado frente a cargas como el viento o los sismos. Porque cuando no se toman las medidas necesarias para arreglar esta flexibilidad, el extremo superior puede llegar a moverse metros", explica Herrera. Una de las soluciones para enfrentar la flexibilidad es construir

elementos más grandes, y por eso, según el académico, estos edificios de hormigón terminan con muros de 60 centímetros en la base cuando lo normal son 25 centímetros en una construcción de 25 pisos.

EL RIESGO DE LOS SISMOS LEJANOS

La resistencia que demostraron los edificios de hormigón armado de hasta 22 pisos durante el terremoto de 1985 generó una gran confianza en torno a este tipo de construcción. Tanto así, que la norma chilena para el diseño sísmico de edificios está inspirada en su buen comportamiento. Pero las edificaciones en altura que actualmente se están desarrollando no han pasado esta prueba de fuego y es por ello que nuestros académicos tienen una especial preocupa-

ALUMNO DE MAGÍSTER INVESTIGA SISTEMA ALTERNATIVO DE CONTROL DE VIBRACIONES

Sencillo, económico, efectivo y poco utilizado. Así es el sistema de control de vibraciones que está investigando el académico de Ingeniería Civil Rubén Boroschek junto al alumno de magíster Luis Rozas: "Lo que nosotros hacemos es un estanque que contiene agua, la cual se mueve cuando el edificio oscila por causa del viento o un temblor. La forma del estanque y la cantidad de agua se calcula para que cuando el edificio oscile en una dirección, el agua en el estanque se mueva igual pero en dirección opuesta. El agua golpea la pared del estanque y disminuye el movimiento del edificio. Es increíblemente sencillo, pero es complicado matemáticamente, porque las ecuaciones que demuestran las bondades del sistema son complejas y la gente nunca ha querido meterse con ello", señala el profesor.

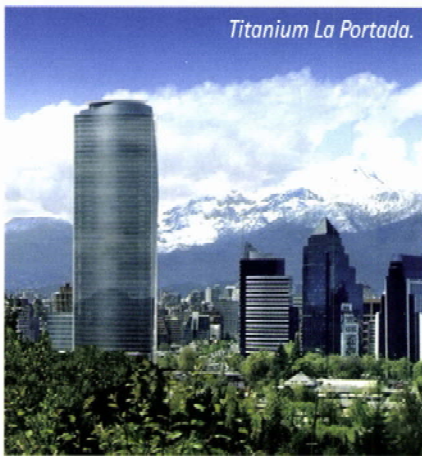
Uno de los beneficios de las columnas líquidas sintonizadas sobre los sistemas de masas sintonizadas (los más utilizados actualmente), es que ya sea por seguridad o abastecimiento, los edificios mantienen estanques en altura y este dispositivo puede aprovechar ese mismo almacenamiento para que cumpla, además,

la función de contrarrestar la flexibilidad de la estructura. "El mecanismo que permite el desplazamiento de los sistemas de masas sintonizadas requiere de mayor mantención, el disipador de columna líquida, en cambio, es simplemente un estanque de muros de hormigón en forma de "U" lleno de agua. La propuesta es que ya que los edificios tienen los estanques, sólo hay que cambiar las dimensiones", dice Rozas. El estudio es la primera experiencia de este tipo en Chile y los investigadores esperan usarlo inicialmente en estructuras industriales.

Actualmente Rozas y Boroschek están trabajando en la fase experimental del proyecto que debería estar terminado para abril de 2008.



Luis Rozas



Titanium La Portada.

ción por asegurar su estabilidad ante una eventual catástrofe.

"Lo que complica más a los edificios altos es un terremoto lejano. Por ese motivo, para el terremoto en Pisco yo viajé a Lima para estudiar qué efectos había tenido ese sismo en los edificios altos del barrio de Miraflores", cuenta Saragoni.

"El terremoto que esperamos que ocurra en el sector de Matanzas-Constitución puede que no sea tan grande, pero a estos edificios los puede mantener vibrando unos 5 ó 10 minutos con amplitudes de 30 centímetros para cada lado, lo que es complicado desde el punto de vista de la seguridad, porque la persona no puede evacuar en ese tiempo y se propician las condiciones para que se produzca el pánico", explica.

Justamente para controlar mejor el diseño de estas obras habitacionales, la Red Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM tiene uno de sus acelerógrafos –instrumento para registrar la aceleración del terreno en varios niveles verticales en función del tiempo– en el edificio de la Cámara Chilena de la Construcción, una estructura de 20 pisos. "Queremos hacer el esfuerzo de colocar instrumentos en más obras de este tipo, porque uno de

Sin importar el evento al que el edificio se enfrente, sea viento, sismo, o incluso choque de aviones, el principio fundamental de los ingenieros es que la estructura no colapse.

los grandes déficit de la ingeniería sísmica a nivel mundial es que hay muy pocos edificios instrumentados en zonas sísmicas. Toda la modelación computacional no está basada en medidas experimentales. Yo tengo la sospecha de que nuestros modelos computacionales no representan bien la forma en que se comportan los edificios y creo que esa es una de las causas por las que se caen los edificios en Japón y EE.UU.", señala Saragoni.

TOLERANCIA CERO FRENTE AL COLAPSO

Cuando se estudia la seguridad de un edificio hay que velar por la protección de dos factores: la vida y la inversión. El Director del IDIEM explica: "Para proteger a las personas debes procurar que la estructura no se venga abajo. Y, además, debes considerar que un edificio puede no tener problemas de estructura después de un sismo, pero el daño interior es tan grande que las pérdidas pueden ser fácilmente del 70% de la inversión: se vienen abajo los muros cortina, los mármoles, los computadores caen al piso, se pierde parte importantísima de la obra".

Pero sin importar el evento al que el edificio se enfrente, sea viento, sismo o incluso choque de aviones, el principio fundamental de los ingenieros es que la estructura no colapse.

"Para terremotos frecuentes de entre 5 y 6 grados de magnitud esperarías que el

edificio prácticamente no tuviera daño. Para sismos de entre 7 y 8 grados, uno espera daños significativos, porque el edificio tiene que haber llegado a su resistencia máxima. Y ante el sismo máximo que se considera habrá daños severos, pero el edificio no se puede venir abajo", apunta el académico Ricardo Herrera.

Según los expertos, una estructura bien diseñada sísmicamente también cumplirá con los estándares necesarios para resistir la carga lateral ejercida por el viento. Sin embargo, el diseño debe considerar ciertas precauciones para evitar los desplazamientos que se producen incluso con vientos normales.

Una de las alternativas más utilizadas para vencer la flexibilidad son los amortiguadores sintonizados de masas, dispositivos de gran magnitud que cuelgan de la parte más alta de la obra y cuyo movimiento de péndulo va en el sentido contrario de la estructura para detenerla, gracias a que está sintonizado con la frecuencia de la estructura principal.

Hasta el momento, en Chile sólo se ha construido un edificio con estos dispositivos en Av. Pdte. Riesco, pero el Titanium La Portada se sumará a esta experiencia e innovará aún más. Alfonso Larrain, calculista de esta megatorre y profesor del Departamento de Ingeniería Civil adelanta: "Nuestro edificio contempla el sistema de masa sintonizada, pero adicionalmente instalaremos amortiguadores de energía intermedios, dispositivos que en base a deformaciones de metales producen la amortiguación del edificio. La suma de ambos sistemas permitirá bajar en un 40% las deformaciones de la estructura". Estos amortiguadores de fierro fundido en forma de "U" se instalarán cada tres pisos a partir de la planta 13 de un lado y 16 en el otro, para no interrumpir un apéndice



"Estas estructuras son más seguras que cualquiera otra de menor altura. Primero se va a venir abajo todo Santiago antes de que se caiga cualquiera de estas torres".

que se construirá a un costado de la torre. "En un sismo real, una persona al interior del edificio debería llegar a percibir una deformación de 58 centímetros hacia cada lado, en un periodo de seis segundos en cada dirección. Es decir, en 12 segundos se desplazaría 1,20 metros. Eso podemos bajarlo a 70 centímetros gracias a estos dispositivos", señala Larraín y agrega: "Estas estructuras son más seguras que cualquiera otra de menor altura. Primero se va a venir abajo todo Santiago antes de que se caiga cualquiera de estas torres".

El Costanera Center optó por una solución ingenieril distinta para enfrentar la flexibilidad de la estructura. Esta megatorre no incluirá -hasta el momento- amortiguadores sintonizados. El calculista de la obra, René Lagos, explica por qué: "Todas las vibraciones que se midieron en el Costanera están dentro de los rangos admisibles, no hay que usar una tecnología especial para frenarlos. El edificio está respondiendo de forma tradicional a todas las cargas, porque hay una disipación de energía interna en el hormigón armado. En este material existen

fisuras interiores, vacíos de aire, etc. Cuando uno deforma esa masa se produce un roce entre las partículas al interior, la misma apertura de microfisuras al interior que después se cierran, hacen que se disipe algo de energía. Además, dentro de un edificio hay elementos que están firmemente anclados a la estructura, que son los que vibran, y otros que no están anclados, como cuadros, mesas, sillas... todos esos elementos son disipadores de energía que hacen que el edificio se frene. Según nuestras mediciones, en menos de un minuto el edificio ya logra frenarse significativamente".

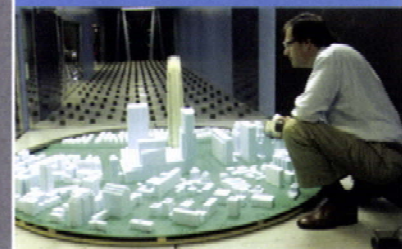
Para los ingenieros de la FCFM, la meta es ir mucho más allá de la prevención del colapso de las estructuras. El concepto que guía el trabajo de nuestros especialistas es velar por la continuidad de operación de todas las obras civiles tras una catástrofe. Saragoni explica: "El tema de la seguridad sísmica es muy similar a la salud pública: las unidades de urgencia de todos los hospitales deben tener un cierto nivel de calidad para que sean capaces de salvar vidas. Acá el sistema es igual. El día que

LA PRUEBA DEL VIENTO

Cuando el diseño de un edificio excede los 50 pisos, es necesario tomar medidas extraordinarias para investigar cuáles serán los efectos del viento alrededor de la estructura y para ello se utilizan ensayos en túneles de viento.

En nuestro país, ningún edificio de altura se había sometido a estos análisis hasta ahora (sólo se había usado en el Centro de Justicia de Santiago para estudiar el techo), pero tanto el edificio Costanera Center como el Titanium pasaron por este análisis para estudiar el efecto volcaneante que puede generar el viento en torres de esta altura, en laboratorios de la empresa RWDI en Canadá e Inglaterra, respectivamente.

Los túneles de viento utilizan un modelo a escala de la estructura con maquetas de los edificios y cerros circundantes hasta seis cuadras a la redonda. A través de turbinas sopla el aire y se realizan mediciones sobre el flujo alrededor del dispositivo y se comparan con los resultados teóricos. "Con esto obtenemos los datos necesarios para calcular el muro cortina a distintos niveles y los esfuerzos (presiones horizontales contra la estructura) a los que queda sometido el edificio a distintos niveles", señala el calculista de Titanium y Profesor del Dpto. de Ingeniería Civil, Alfonso Larraín.



ocurra el terremoto vas a estar en cualquier parte. Y nuestro rol como Universidad de Chile es garantizarle a todos los chilenos que donde esté, esté seguro".

Texto: Sofía Otero C.