



MEGATORRES EN SANTIAGO

CAMINO AL

Arquitectura y construcción se unen para tocar el cielo de Santiago a través de dos gigantes de hormigón. Esta aventura no es tan sencilla como parece porque la ejecución de Torre Costanera y Titanium La Portada exige planificación, gestión, innovación tecnológica y alta, muy alta, ingeniería.

CLAUDIA RAMÍREZ F.
PERIODISTA REVISTA BIT

Maqueta Torre Costanera

CIELO

UNA ESTRUCTURA CON FORMA de teléfono celular con más de 140 metros, se convirtió a mediados de los '90 en el primer escalón de las construcciones modernas de altura en la capital. Pero, se podía subir más. En sólo tres años la torre CTC, actual Telefónica CTC Chile, fue superada por el Hotel Marriott y sus 145 metros, el edificio más alto del país durante casi una década.

Hoy, con el impulso de innovaciones y desarrollos constructivos, el sector inmobiliario apuesta a dar un gran salto. Sí, porque Santiago se dispone a albergar a dos verdaderos gigantes, la Torre Costanera y el edificio Titanium La Portada, de 300 y 192 metros de altura respectivamente.

¿Cuáles son los desafíos constructivos y de ingeniería que imponen estos megaproyectos? ¿Qué innovaciones tecnológicas? ¿Qué conceptos arquitectónicos predominan? ¿Cuáles son los retos en planificación y gestión? En esta edición abordamos aspectos fundamentales de estas obras en construcción, cuyos exigentes plazos expiran el 2010 y 2008, respectivamente. Mientras el reloj avanza para arquitectos e ingenieros, repasemos los principales aspectos que explican el surgimiento de megatorres en Santiago.

Años de cambio

Los avances tecnológicos, de ingeniería, construcción y arquitectura permiten el desarrollo de proyectos cada vez más audaces en diseño y altura. Los rascacielos -edificios que superan los 100 metros de altura- proliferan en ciudades de Europa, Norteamérica y Asia buscando optimizar el escaso espacio disponible. Un buen ejemplo del progreso se observa en el edificio Taipei 101 (509 m)



Maqueta
Titanium La Portada



FICHA TÉCNICA

Nombre del proyecto:

Costanera Center, rascacielos Torre Costanera

Ubicación: Avenida Andrés Bello con Nueva Tajamar, Providencia, Santiago.

Desarrollo: Inmobiliaria Costanera Center S.A.

Construcción: Salfa Construcciones

Gerente de Proyecto: Jaime Arias, Cencosud.

Arquitectura: Alemparte Barreda y Arquitectos Asociados.

Arquitecto Torre Costanera: Pelli Clarke Pelli y Alemparte Barreda y Asociados.

Altura: 300 metros

Pisos: 60

Subterráneos: 5

Estacionamientos: 4.500

Superficie total: 694.424 m²

Cálculo estructural: René Lagos y Asociados Ingenieros Civiles, revisor nacional Tomás Guendelman, revisor internacional Thornton y Tomasetti.

Túnel de viento: RWDI, Canadá

Mecánica de suelos: Héctor Ventura y Asociados

Inspector técnico: Inspecta

Asesor sísmico: Rodolfo Saragoni

Links: www.cencosud.cl, www.alempartebarreda.cl, www.cesar-pelli.com

y las Torres Petronas (452 m), que encabezan los rankings mundiales, coronando los cielos de las ciudades asiáticas de Taipei en Taiwán y Kuala Lumpur en Malasia.

Nuestro país también toma altura, porque actualmente en Santiago ya hay 15 edificios que superan los 100 metros, como el Hotel Marriott (145 m), Telefónica CTC Chile (140 m), Torre de la Industria (120 m) y la Torre Alameda (115 m). Una historia que se remonta a 1981, cuando la Torre Santa María (109 m) se alzó como el primer rascacielos de la ciudad, sobrepasando con sus 29 pisos los 100 metros. Un

hito de peso fue la construcción del Hotel Marriot de 145 metros y 40 pisos, ubicado en el Boulevard Kennedy, proyecto que significó una inversión millonaria a fines de los noventa. (Más información sobre Boulevard Kennedy en Revista BIT N°15, septiembre 1999, www.revistabit.cl).

Los múltiples desafíos de arquitectura e ingeniería planteados por los primeros rascacielos del país se superaron con éxito, una situación que hace crecer las expectativas de los profesionales involucrados en los actuales proyectos a alturas semejantes a las estructuras que desarrollan. Y esto se nota. "Es una oportunidad única en la vida. Diseñar Torre Costanera, que será la más alta de Sudamérica, junto a las dos más elevadas de Chile implica la responsabilidad de un proyecto que permanecerá 60 años o más como un símbolo de la ciudad", señala Yves Besançon, arquitecto socio de Alemparte Barreda y Arquitectos Asociados. Andrés Weil, jefe de proyecto Titanium La Portada, ejecutado por la oficina de arquitectura de Abraham Senerman, Senarq, señala: "Titanium La Portada es un proyecto emblemático, que aportará al desarrollo de la ciudad y al bienestar de los futuros usuarios, quienes tendrán acceso a oficinas de categoría mundial en Santiago. La altura es resultado de las posibilidades urbanísticas del lugar y de la demanda en el mercado de oficinas por un producto de gran calidad en una ubicación única en la capital".

COSTANERA

a) Arquitectura majestuosa

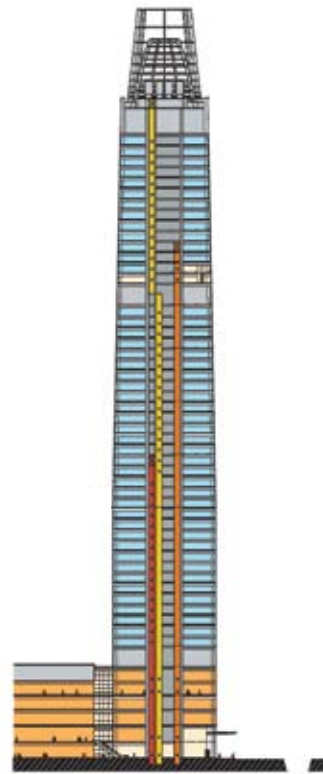
La construcción de un rascacielos toma tiempo y bien lo saben los profesionales que participan en el desarrollo de la Torre Costanera, protagonista del mall Costanera Center propiedad del holding Cencosud, del empresario Horst Paulmann. "El proyecto se encargó en 1989 para explotar un terreno comprado a la CCU, en 1986. Se desarrolló un diseño similar al actual, cuyas diferencias fundamentales son las alturas de las torres y del mall. En 1993 el emprendimiento se interrumpió por seis años. Tras esta pausa, se gestionó la reaprobación de una propuesta levemente distinta a la anterior y hasta el 2005 nuestros arquitectos y el equipo de Cencosud trabajaron en la elaboración del proyecto final", explica Besançon.

Los ocho años transcurridos desde la primera propuesta no fueron en vano. Por una parte, el proyecto creció considerablemente –la última expansión significó aumentar en 50 m la altura de la Torre Costanera, pasando de los 250 m originales a 300 metros- debido al aprovechamiento de aspectos como la constructibilidad casi ilimitada que permite la normativa municipal. Por otro lado, la incorporación del prestigioso arquitecto argentino nacionalizado estadounidense, César Pelli, artífice de las Torres Petronas, dio categoría mundial a la obra.

¿Dónde se nota la incidencia del arquitecto norteamericano? Primero, este profesional es el autor de la idea conceptual del rascacielos. Luego, tuvo una participación directa en la elección de los materiales y, finalmente, definió cuatro aspectos fundamentales: La estructura de la construcción, el área de circulaciones verticales que debe ser reducida y efectiva, el lobby que “debe proyectarse con gran dignidad y mucha elegancia”, y la piel o recubrimiento de fachadas. “El muro cortina es lo más importante del edificio. En este caso es transparente con abundante transmitancia de luz al interior”, señala Besançon. Así en la elección del cristal, que contó con la decisiva participación del arquitecto norteamericano, se privilegió elegancia, transparencia y condiciones térmicas. El cristal es el material predominante de la fachada, sin incluir grandes perfiles de aluminio.

La Torre Costanera forma parte de una obra de casi 700.000 m², que incluye un mall de 6 niveles, 200 locales comerciales, 4.500 estacionamientos, cubierta con terraza, parques, áreas verdes y piscina. A esto se suman tres rascacielos, dos de 170 m donde se ubicarán lujosos hoteles y uno de 100 m para oficinas y un centro médico. ¿Tantas moles no opacarán el rascacielos? Los arquitectos plantean una analogía para responder: “Es como una gran fiesta donde hay una novia, en este caso la torre mayor, que se debe destacar. Su vestido es único e impacta, sobresaliendo del resto del conjunto. Los restantes edificios se transforman en elegantes damas de compañía que no compiten con la principal, ni intentan imitarla”.

Como si la altura del rascacielos no bastara, se adoptaron otras medidas para que destacara en la ciudad. Por ejemplo, se ubica en la esquina más importante del centro comercial (Tobalaba con La Costanera Andrés Bello), cuenta con materiales de alta calidad y se extiende aislado hasta el suelo, es decir, no está pareado con otra estructura.



ELEVACIÓN TORRE COSTANERA.
Se aprecian las plantas altas, medias y bajas y los pisos mecánicos.

El edificio, de acuerdo con los proyectistas, “es un clásico de la arquitectura y la ingeniería”, que aspira a constituirse en una torre emblemática e iconográfica de Santiago, “un símbolo lo más alto y esbelto posible”. Besançon sintetiza: “Es una torre simétrica, definida por Pelli como construida en el axis mundi, en torno a un eje que alcanza al infinito y abajo se encuentra con el centro de la tierra”.

En síntesis, la esbeltez se obtuvo por la forma del edificio que parte con una planta de 50x50 m² y concluye con ²/₃ de esa planta. Así los 60 pisos de oficinas rematan en un área mecánica donde se ubican sistemas de telecomunicaciones.

b) Desafío a la ingeniería

Al desarrollar la ingeniería de un rascacielos resulta fundamental considerar la función que desempeñará. Así por ejemplo un edificio corporativo requiere un traje a la medida, construido con amplia flexibilidad, sin escatimar recursos. En cambio, el diseño de un rascacielos destinado al arriendo de oficinas demanda un criterio especial. “Los estándares de la Torre Costanera son altísimos, de nivel internacional, por el tipo de las empresas que se instalarán. Con las dimensiones que

Secuencia que muestra la evolución de la excavación desde agosto de 2005 a noviembre de 2006.





Un total de 13 grúas y 2.800 trabajadores en terreno se utilizarán en el peak de la construcción.

se manejan, se podría haber hecho un edificio de 80 pisos, pero se privilegió un estándar de 4,10 m para oficinas, una altura inédita en edificios del país”, agrega el ingeniero.

Si hablamos de edificios top ¿Cuál es la mayor altura que puede presentar un rascacielos? “Depende de lo que se esté dispuesto a gastar”, recalca Lagos. Esto porque mientras más alto sea, menor será el porcentaje de superficie disponible por la gran dimensión que presentan las estructuras soportantes como el núcleo. “El área útil de una construcción disminuye rápidamente si excede la proporción 1:6, considerando la dimensión en planta versus dimensión en altura. En Costanera hay una altura de 300 m y una base de 50 m, es decir, acorde con la proporción aceptable para obras de estas características”.

Otro aspecto a considerar en la arquitectura consiste en compatibilizar los requerimientos de ascensores y escalas con el diseño de la estructura. Obviamente las demandas aumentan con la altura del edificio. Para superar el desafío, en la Torre Costanera se realizó un estudio que dividió los ascensores en tres niveles, low, medium and high rise, que permiten subir de 20 en 20 pisos, acota Besançon. “La gran torre cuenta con un núcleo central, condicionado por la geometría del diseño de las circulaciones verticales. Resultó un cilindro vertical conformado por muros acoplados por dinteles en los ascensores y puertas”, explica René Lagos, ingeniero estructural y socio de Lagos y Asociados Ingenieros Civiles. En cuanto a ascensores destaca la tecnología double deck, cabinas de dos pisos, cuyo primer nivel se posa en los pisos pares y el segundo en los impares.

Pero la ingeniería no concluye aquí. Sí, porque el viento sopló con fuerza sobre los modelos de la mole de hormigón, tanto que previo al diseño los ingenieros confiesan haber tenido dudas sobre la influencia de este factor: “Había indicios que bajo ciertas condiciones el viento podía controlar el diseño estructural de la torre. Los modelos se sometieron a un túnel de viento, prueba que consistió en una maqueta de la torre de 1 m de altura que incluía modelos de los edificios y las estructuras ubicadas hasta cuatro cuadras a la redonda de la gran torre”, señala Lagos. “Al transformarse el viento en un actor relevante, el uso del método dinámico de la norma chilena Nch. 432.Of. 71 ‘Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones’ se hace necesario, pero presenta limitaciones. Por ello, se consideró adicionalmente la norma americana ASCE7-05 y los resultados del análisis experimental en tú-

nel de viento”, agrega Rodolfo Saragoni, ingeniero estructural y asesor sísmico de Torre Costanera y Titanium La Portada. El análisis de túnel de viento permite calibrar el factor de ráfaga, incorporar los efectos de torsión del viento y la influencia de la presencia de los edificios vecinos o efecto shelter, factores que no se pueden estimar en forma adecuada con el uso de normas. Saragoni agrega: “Los periodos naturales de vibrar de las megatorres, del orden de 6.0 segundos, hacen caer la solicitación sísmica en un rango de valores en el que la norma chilena Nch 433.Of 96 ‘Diseño sísmico de edificios’, no es tan precisa. Dada la flexibilidad de las torres, el diseño sísmico queda controlado por terremotos lejanos subductivos interplaca tipo thrust, con epicentros entre 300 a 500 kilómetros, que no están bien representados en la norma”.

El viento y los movimientos telúricos son cargas horizontales, siendo la fuerza sísmica generalmente mayor, especialmente en países como el nuestro. Sin embargo, en edificaciones de gran altura el viento puede generar un efecto volcane que controla el diseño de ciertos elementos. Un tema no menor que requiere de acciones especiales. “Para evitar el efecto del momento volcane sobre la torre se diseñó una fundación más grande que la habitual, funcionando como un mono porfiado”, explica Lagos. Las fundaciones de hormigón soportan las cargas desde la base del edificio, evitando la caída de la estructura cuando asota el viento.

Y hay otra precaución en rascacielos. Las fuerzas ejercidas por el viento –de tipo directo (sobre la estructura) e indirecto (en sentido perpendicular al viento)– provocan breves vibraciones que resultan molestas para los usuarios e incluso provocan mareos y otros malestares. Los profesionales explican que dependiendo de las frecuencias de vibración del edificio y los vórtices (*) que se generan, puede haber requerimientos perpendiculares mayores que lo habitual causados por el viento indirecto, fenómeno que no es tradicional. ¿La solución? “En casos de resonancias muy altas se aplican elementos especiales. Por ejemplo en la Torre Costanera se recortaron las esquinas del edificio de manera de descolocar al viento y evitar las aristas tradicionales”. Así, debido a las modificaciones en la geometría, la frecuencia con la que sopla del viento no es la misma en todo el edificio, lo que evita la vibración.

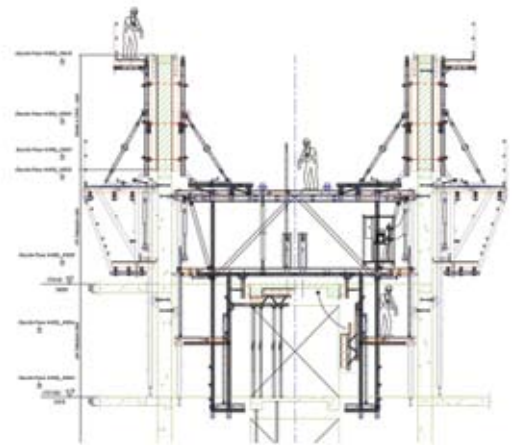
Los ingenieros no descartan el uso de disipadores de energía como masas sintonizadas o estanques de agua para contrarrestar las fuerzas que podrían azotar al edificio, sin embargo aseguran que en la Torre Costanera no hay problemas de aceleración excesiva, el edificio presenta un período de vibración de 6”, usual para su altura.



Torre SyV, Madrid, España

ULMA Construcción con presencia en proyectos en altura

Los proyectos se elevan rápido a base de tecnología, calidad y seguridad. Y se elevan tanto como se quiera. Tres metros, treinta, trescientos... Sí, 300 metros de altura y más, con la facilidad que proporciona el sistema **AUTOTREPANTE** de ULMA Construcción; un sistema utilizado en obras de altura en todo el mundo, y ahora con toda su ingeniería y tecnología al servicio y disposición de los grandes proyectos en altura de Chile.



Torres de la Fira
Barcelona, España



Viaducto Candalaria
Asturia, España



Torre SyV
Madrid, España



One Bryan Park
New York, EE.UU.

- ENCOFRADOS VERTICALES
- ENCOFRADOS HORIZONTALES
- SISTEMAS DE OBRA CIVIL
- PUNTALES Y CIMBRAS
- ANDAMIOS

WWW.ULMA.CL
WWW.ULMACONSTRUCCION.COM



ULMA Chile - Andamios y Moldajes S.A.
Vizcaya Nº 325 - Pudahuel
(Ruta 68, Camino Noviciado)
SANTIAGO (Chile)
Tel: + 56 2 599 0530
Fax: + 56 2 599 0535



Maqueta
Titanium La Portada.
(en pág 22)

Un último desafío a la ingeniería y a la arquitectura resultó el remate de la torre en el que se instalarán sistemas mecánicos y de comunicaciones, ocultos por un muro cortina. Aquí el viento, que ejerce una presión importante sobre la cúpula, demanda el reforzamiento de las estructuras y el uso de puntales de acero para asegurar el muro cortina.

Por su parte, previo a las fundaciones se realizaron estudios de suelo que permitieron evaluar la capacidad resistente vertical y horizontal para cargas dinámicas y estáticas. Los números resultaron positivos, alcanzando presiones de uso de 20 k/cm², y un máximo de 60 k/cm². Igualmente se realizaron labores especiales en las fundaciones porque el terreno estaba completamente inundado por filtraciones provenientes del río Mapocho, las que en primera instancia fueron canalizadas. “Luego se drenó el suelo por medio de 7 pozos que condujeron la napa colgada a 100 m de profundidad, se colocaron las pilas de contención y finalmente comenzó la excavación masiva”, recuerda Jaime Arias, gerente del proyecto Costanera Center.

Las fundaciones de la Torre Costanera se concibieron como una losa de 3,0 m de altura por 2.500 m² de superficie, usando 7.500 m³ de hormigón en la base. Al interior de éstas se colocaron las placas de carga y los sensores de asentamiento que controlarán mediante un sistema computacional el comportamiento del suelo y de la fundación durante toda la vida útil del edificio.

c) Innovaciones en construcción

Equipos, soluciones constructivas, y aplicaciones exclusivas son las novedades de este proyecto donde la gestión y planificación son protagonistas.

• **Instalación de faenas:** Esta actividad también sobresale como un esfuerzo de innovación por mejorar la operación en terreno. Considerando que el peak de la construcción contará con más de 2.500 trabajadores, se aprovechó el sector de Tobalaba para la instalación de faena, en donde luego tendrán lugar las cuatro pistas del eje del puente

FICHA TÉCNICA

Nombre del proyecto: Titanium La Portada

Ubicación: Avenida Isidora Goyenechea 2800, Las Condes, Santiago.

Desarrollo: Inmobiliaria Titanium S.A.

Arquitectura: Senarq S.A., Abraham Senerman Arquitecto, equipo arquitectos Senarq.

Construcción: Constructora Sernaco S.A.

Altura: 192 metros

Pisos: 52

Subterráneos: 7

Estacionamientos: 1.350

Superficie total: 120.000 m², aproximadamente.

Cálculo estructural: Alfonso Larraín y asociados, revisor nacional Tomás y Mario Guendelman, revisor internacional Joseph Colaco, CBM Engineers (Huston, USA).

Túnel de viento: RWDI ANEMOS (Inglaterra)

Mecánica de suelos: Héctor Ventura y Asociados, revisor Issa Kort.

Asesor sísmico: Rodolfo Saragoni

Links: www.titaniumlaportada.cl

del túnel San Cristóbal. Allí se instaló una oficina amplia que alberga departamentos de Salfa, constructora y principal contratista, Inspecta, encargada de la inspección técnica, y el equipo de Cencosud, en un área que comprende baños para mil personas, un edificio de dos pisos con vestidores en el primer piso y casino para 600 personas en el segundo, siguiendo la modalidad “Casa de cambio”.

Las faenas también incluyen medidas tendientes a mitigar el impacto durante la construcción. Por ejemplo, la obra tiene un solo acceso (en 5 hectáreas de extensión), lo que permite ejercer buenas prácticas tales como el estricto control de los camiones que ingresan a la obra y

que cumplen con el lavado de ruedas, la cobertura de la carga y control de pesaje por eje (romana), entre otros.

El proyecto contempla además la aplicación de un plan de impacto vial y urbanización para el que se invertirán más de U\$ 6 millones. El plan incluye accesos subterráneos al mall para evitar el atochamiento de calles aledañas, la construcción de cuatro puentes, paseos peatonales y pasarelas (Más información sobre impacto vial y urbanización de estos megaproyectos en próximas ediciones de BIT).

• **Hormigones:** En esta área los récords resultan notables. En un comienzo la planificación de la elaboración de losas debía alcanzar los 450 m² por semana por grúa y por sector, sin embargo ya se barajan cantidades de 1.000 m² por sector, y tras la instalación de una planta hormigonera en terreno, se pretende igualar ese número, pero por día.

La incorporación de la planta de Ready Mix –diseñada en el extranjero con tecnología avanzada –incluye la elaboración de hormigones de prueba in situ, y un sistema de hormigoneo vía bombeo de 500 m de proyección, capaz de producir 500 m³ diarios de 14 calidades distintas. Con esta tecnología se elimina el impacto vial y el costo asociado al transporte de camiones a la obra. Además la construcción contará en cada torre con repartidores o distribuidores de hormigón en altura, autotrepantes, diseñados especialmente para el proyecto, instalados en los núcleos de los edificios.

• **Comunicaciones:** Otra aplicación interesante es el manejo y la llegada de información técnica a terreno. La obra cuenta con un riguroso control de documentación por medio de una unidad intermedia que maneja un sistema Web, la unidad de control de documentos,

que permite revisiones periódicas de los avances en la ejecución de la ingeniería. En resumen, la constructora recibe el plano, cubica y envía a terreno la información de ingeniería, arquitectura y especialidades corregida. Si se detectan errores, se comunican a través de un formulario de no conformidad, que por medio del coordinador llega a los proyectistas, y se corrige en menos de 24 horas, retirando los documentos rechazados.

Pero el riguroso control de documentación no es casualidad, sino resultado de un cuidadoso trabajo de gestión y planificación. “Se trata de un proyecto desarrollado en un sistema fast track, es decir, en un plazo de 58 meses se debe colocar por administración directa de Costanera Center un monto de inversión de US\$ 470 millones, distribuido simultáneamente en las fases de ingeniería, compras, construcción y puesta en marcha. Para realizarlo, se están aplicando técnicas de dirección de proyectos probadas en Chile en obras mayores, e inéditas en iniciativas inmobiliarias en el país”, explica Jaime Arias.

• **Moldajes, andamios y grúas:** Aunque utilizados en otras obras, los moldajes autotrepantes presentes en la Torre Costanera resultarán altamente eficientes ya que se diseñan para responder a edificaciones que superan los 150 metros. “Los sistemas se utilizarán principalmente en los muros del núcleo de cada torre. En obra aún no se han implementado esta tecnología, sin embargo, la experiencia recogida en los proyectos desarrollados por Ulma Construcción en Europa y Estados Unidos confirman las ventajas de implementar en edificios de altura mayor a los 100 m con tecnología autotrepante, entre otros aspectos



Accura Systems
Architectural Products for a World Market

20 AÑOS DE EXPERIENCIA EN MUROS CORTINA

- Nuestros principales clientes se encuentran entre las oficinas de arquitectos más importantes a nivel Mundial.
- Contamos con el departamento de Diseño e Ingeniería líder en Latinoamérica.
- Nuestras obras realizadas en EEUU, Latinoamérica y el Caribe avalan nuestra experiencia y conocimiento de la normativa para Muros Cortina.
- Contamos con capacidad para testear Muros Cortina a escala real bajo las normas ASTM, AAMA y NCh (Chile).

infochile@accurasystems.net
www.accurasystems.net



La técnica de excavación “muros bajando”, utilizada en Titanium La Portada, consiste en anclar los muros hacia el terreno, los que a su vez sirven de pilas de sostenimiento.

tos, por la independencia de que obtiene del uso de grúas y el número de operarios requeridos”, comentan en Ulma Chile.

A esto se sumarán andamios trepantes en torno a cada torre “Se han implementado soluciones para alcanzar altos rendimientos en labores de montaje y desmontaje de los encofrados de losa, desarrollando sistemas de mesas con el material de andamio multidireccional BRIO, aprovechando su versatilidad de configuración, para alturas de 3 y 6 metros de piso a piso”, comenta Juan Pablo Fuentes, jefe Departamento Técnico de Ulma. (Más información sobre moldajes en Revista BIT N° 51, noviembre 2006, www.revistabit.cl).

En cuanto a las grúas –13 en total– la novedad son dos equipos trepadores que se anclarán a las torres y ascenderán a medida que avance la construcción, más una grúa que se ubicará en el núcleo del edificio y que alcanza la altura total. Además, las grúas contarán con dispositivos desarrollados en Alemania para detectar fallas, que permitirá monitorear las cabinas por medio de un sistema remoto, y a la vez optimizar la tasa de ocupación.

• **Seguridad:** En este aspecto el rascacielos aspira a ser pionero en la incorporación de tecnología para asegurar la integridad de una población flotante calculada en 40.000 usuarios diarios. Sin embargo, el desarrollo de un concepto de seguridad se inicia mucho antes. Durante la construcción se implementa un plan especial que incluye simulacros de evacuación periódicos y estudio constante de las vías de escape, para que el crecimiento de la obra no bloquee algunas áreas. A esto se suma un sistema de control que reporta incidentes al instante, señalando el índice de frecuencia y gravedad. El sistema de seguridad incluye planes de evacuación ante terremotos, incendios, y atentados, entre otros.

Tras la inauguración de la obra, la seguridad seguirá siendo esencial. Para esto un grupo de expertos participa en el proyecto y revisa cada uno de los edificios y sectores del mall, lo que permite cumplir con normativas europeas y norteamericanas en la materia, según el estado del arte. La seguridad incorporará tecnología desarrollada después de la caída de las Torres Gemelas, que incluye ascensores presurizados, vías de evacuación protegidas, escaleras presurizadas, una red de sprinkler en todas las superficies, materiales no combustibles y resistentes al fuego, entre otros.

• **Energía:** En climatización, específicamente en el enfriamiento de agua para aire, se dispondrán enormes bancos de hielo que producirán importantes cantidades durante la noche para enfriar el agua de día. “El suministro de electricidad, agua, seguridad y climatización se realizará en forma centralizada como funcionaría en una pequeña ciu-

dad. El conjunto estará bajo el control de un sistema que tendrá sus controles a la vista”, explica Besançon.

Además, habrá climatización por piso con un sistema controlado a distancia. Los equipos estarán agrupados en sectores mecánicos estratégicamente ubicados en la parte superior del centro comercial y en las torres en diferentes niveles (pisos mecánicos). Por otra parte, las aguas servidas se procesarán en plantas de tratamiento internas.

TITANIUM

a) Excavación profunda

Si se trata de desafíos y tecnologías asociadas a la construcción de rascacielos, Titanium La Portada, proyecto desarrollado por Inmobiliaria Titanium, sociedad formada por ASL Sencorp y Grupo Bethia para el desarrollo inmobiliario, tiene mucho que decir.

Un reto de peso consistió en evacuar el agua que inundó las excavaciones para las fundaciones a 25 metros de profundidad. La instalación de diversas bombas y el uso de modernas tecnologías permitió manejar adecuadamente la napa freática y mantenerla deprimida.

Otro desafío resultó el plazo de construcción de la torre, “que es similar al de un edificio tradicional siendo que éste tiene el doble de la altura. Se está trabajando para terminar a fines del 2008”, indica Andrés Weil.

El proceso constructivo se inició con la excavación. El edificio de 52 pisos y 7 subterráneos presenta un sistema de excavación no tradicional consistente en la incorporación de muros de hormigón armado ubicados, de forma descendente, en las superficies laterales del terreno.

La técnica de excavación se aplicará en todo el perímetro excepto en el muro norte, colindante con terrenos vecinos, que se fundará de manera tradicional con pilas en forma ascendente. Alfonso Larraín, ingeniero estructural, gerente de Larraín y Asociados y asesor de Titanium La Portada, resume: “La técnica de ‘muros bajando’ consiste en anclar los muros hacia el terreno, lo que a su vez sirve de pilas de sostenimiento. A diferencia de las obras tradicionales, en esta excavación no hay pilas para sostener el suelo, sino que se construye el muro definitivo de arriba hacia abajo y se ancla a la tierra con tensores como si fueran pilas”.

En detalle, la técnica consistió en perforar el hormigón armado ubicado en el perímetro del terreno e incorporar cables de acero de baja relajación -de 10 a 12 m- anclados con conos de acero, que tras 48 horas se tensan. “Este proceso permite que el muro permanezca adherido al terreno por medio del trabajo y la fuerza de roce y tracción de los cables”, explica el profesional. El sistema se completa con la

A la construcción de la torre Titanium se sumará el desarrollo de paseos y accesos vehiculares desde las avenidas Vitacura, Isidora Goyenechea y Costanera Andrés Bello.

ubicación de un impermeabilizante que evita el paso del agua hacia los muros de hormigón.

En cuanto a los materiales predominantes en terreno están el uso de hormigón H40 y H60, ambos de mayor resistencia que el estándar, más gran cantidad de fierro tipo A63 y H42 para armar las estructuras.

b) Cálculo a la medida

“Como es lógico en Chile, para el cálculo en el edificio mandó el sismo”, responde enfático Alfonso Larraín, al consultarle sobre las solicitudes estructurales de Titanium. El sismo controla el diseño de los distintos elementos del edificio. Sin embargo, el efecto del viento, cuya presión aumenta exponencialmente con la altura, puede condicionar algunas estructuras “El centro de gravedad del esfuerzo sísmico se ubica a un 15% de la altura del edificio, es decir, aproximadamente a 30 m de altura. En cambio, el viento actúa a un 60%, lo que condiciona el diseño de elementos estructurales en la base de los primeros pisos”, explica Larraín.

Si bien la fuerza horizontal del viento es menor, obviamente hay que tomarlo en consideración. El momento volcante debe resistirse en los primeros pisos de la estructura, es decir, por medio de bases más robustas. Para prevenir los efectos del viento, en los primeros pisos se dispuso de pilares, vigas de acero y diagonales metálicas de 50 cm de diámetro y 2 cm de espesor, ubicadas en los extremos en la dirección más angosta de la torre.

Tanto para sismos como para viento, el edificio presenta dos fachadas, una más flexible de un período de 5,6 segundos y otra más rígida, paralela a Avenida Vitacura, con un período de vibración de 4 segundos.

Si bien el efecto del sismo es la preocupación fundamental de los ingenieros, se podría decir que el viento soplará con fuerza sobre Titanium. Por esto se recurrió a un ensaye de túnel de viento que permitió obtener cifras más exactas y determinar las solicitudes de la torre, especialmente las succiones del muro cortina. Al respecto Larraín agrega: “La norma chilena autoriza a usar valores obtenidos a través del túnel de viento, pero éstos no deben ser menores que 85% de lo exigido por la normativa nacional. Por lo tanto a pesar de que el túnel de viento indicaba que podíamos emplear valores menores de presión, preferimos aumentarlos”.

Y aunque el sismo es el que manda o controla el diseño, en algunos elementos la presencia del viento resulta fundamental. El profesional explica: “Las presiones de viento obtenidas en los análisis resultaron mayores que un edificio normal, lo que obligó a aumentar las dimensiones del muro cortina, especialmente de perfiles y vidrios”.

Otra curiosidad resultó el estudio del acortamiento diferencial de pilares en el perímetro. “El acortamiento de elementos verticales o pilares debe evaluarse especialmente en edificios tan altos. En éstos se vuelve significativo puesto que los pilares de la fachada, por tener menos área de hormigón que los muros del núcleo tenderán a bajar más por cargas estáticas y podría ocurrir que el edificio presentara un desnivel hacia la fachada, es decir, se viera como con las alas caídas”, comenta Larraín. En este caso la compensación de pilares respecto del núcleo llegó a 2,5 cm, lo que significa que hay que construir pilares 2,5 cm más altos en algunos pisos para compensar los acortamientos que sufren los pilares



por la altura y asegurar horizontalidad de las losas y vigas que llegan a los muros del núcleo. “En edificios de menor altura las compensaciones son tan pequeñas, que se compensan con defectos de construcción y tolerancias aceptadas”, explica el profesional.

Una particularidad adicional. En la torre no hay juntas de dilatación, es decir, el perímetro está completamente unido al núcleo, lo que permite que los subterráneos permanezcan prácticamente empotrados. Adicionalmente y para mejorar el comportamiento frente a sismos o viento, se instalarán disipadores de energía tipo amortiguadores, que disminuyen los esfuerzos, deformaciones y oscilaciones. Con los amortiguadores, a juicio de los profesionales, la amplitud de la oscilación disminuye en 40%, lo que resultará en un mayor confort para los usuarios y resguardará muebles, escritorios y otras instalaciones de la oficina. “En el último piso se usará masa sintonizada en la otra dirección, en la débil controlaremos la oscilación con disipadores, y en la dirección fuerte, con un estanque de hormigón armado. El estanque, que contendrá agua permanentemente, presentará una oscilación independiente que permitirá disipar la energía de los sismos”.

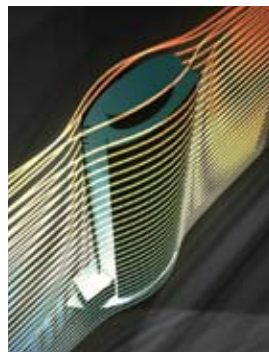
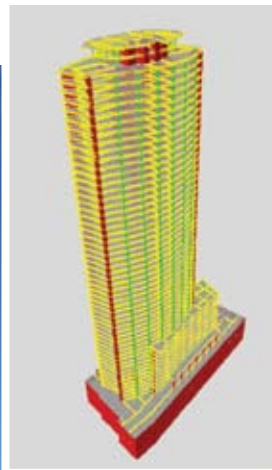
El edificio se fundó con losas de 2 m de espesor y vigas de 3,20 m de altura. Las losas elaboradas en terreno requirieron cuidados especiales puesto que por sus dimensiones se generan altas temperaturas durante el fragüe, que podrían producir grietas en el hormigón.

El atrio de entrada, de casi cinco pisos, se estructuró en base a pilares $-1,20 \times 1,20$ m— cuyo pandeo se estudió rigurosamente. En el resto de los pisos se utilizarán losetas pretensadas prefabricadas más una sobrelosa para traspasar los esfuerzos sísmicos.

c) Velas al viento

Apuntadas las consideraciones de cálculo, vamos al diseño. De acuerdo con los arquitectos de Senarq la fachada de Titanium La Portada se concibió como “velas hinchadas por el viento predominante, que enfrentan la Cordillera de Los Andes con un leve giro vertical, lo que otorga vitalidad y dinamismo a la forma y rompe la simetría del edificio”.

La definición arquitectónica, según los profesionales, surgió de la geografía del valle de Santiago, que “a la altura del cerro San Luís da paso a la Portada de Vitacura, sector donde se estrecha el curso del río



MAQUETA Y MODELACIÓN DE TITANIUM. Se aprecian vigas, dinteles y muros, entre otros. A la derecha, análisis de túnel de viento que indica presiones y succiones sobre el muro cortina.

Mapocho y los vientos imprimen un ritmo orgánico que responde a la trama urbana y a la red vial”.

Justamente en cuanto a impacto vial y urbanización, el proyecto presenta aspectos interesantes. Un ejemplo. Se contempla la construcción de paseos, plazas y jardines, además de una galería cubierta de 14 metros de altura, que permitirá el acceso de los usuarios a la torre y contará con un espacio comercial destinado a exclusivas marcas, restaurantes y otros servicios que complementarán la actual oferta del sector (Más información sobre impacto vial y urbanización de estos megaproyectos en próximas ediciones de Bit).

Protagonista de la arquitectura de la torre, el muro cortina está compuesto por un termopanel de dos cristales monolíticos termo endurecidos, con los que, según los arquitectos se logra una mejor ecuación entre transmisión de luz, coeficiente de sombra y reflectividad. El cristal permitirá maximizar la entrada de luz hacia todas las instalaciones del edificio, filtrando la energía y protegiendo a los usuarios de los rayos solares nocivos, además de favorecer las vistas exteriores.

Otro elemento relevante del diseño se encuentra en la modelación del comportamiento energético del edificio, que consistió en someter el proyecto a una modelación para los 365 días del año, las 24 horas, mucho más detallada que la tradicional. Ello permitió establecer condiciones específicas del diseño considerando variables como la inercia térmica de los materiales, la ocupación según horarios de las oficinas, el uso de computadores y fuentes de calor, los sistemas de ventilación, la radiación solar directa y la iluminación natural. “Esta modelación nos ha permitido tomar decisiones más conscientes respecto al consumo futuro de energía del edificio aprovechando el potencial pasivo de la construcción”, asegura Andrés Weil y agrega que “los excelentes resul-

tados evidenciaron un ahorro por sobre el 35% y una optimización de la iluminación natural para más del 90% de la planta tipo, al mediodía del día más nublado de invierno”.

También, se estudió cuidadosamente la especificación de materiales y las soluciones constructivas para clasificar dentro de los parámetros que exige la certificación LEED (**), que distingue construcciones líderes en preservación medioambiental y ahorro energético.

En materia de climatización estuvo presente el concepto de ahorro energético. La torre dispondrá de unidades de frío/calor en cada piso para racionalizar el consumo e independizar el funcionamiento de los equipos por cada oficina.

Otro aspecto incorporado al diseño es la seguridad, área en la que las expectativas son bastante ambiciosas. En Senarq aseguran que “el desafío es construir el edificio en altura más seguro del país, incorporando las últimas tecnologías, implementadas en los principales rascacielos en construcción en el mundo”. Así, el edificio contará con un sistema de seguridad bastante innovador, que incluye dos ascensores para ser utilizados por bomberos, que viajarán en shaft presurizados y protegidos del fuego. Además, habrá red de sprinkler en todos los pisos incluidos los subterráneos, balcones de rescate cada tres pisos en ambos extremos para que bomberos también opere desde el exterior y en el techo de la torre, una plataforma apta para recibir hasta dos helicópteros, con un peso total de 12 toneladas.

La construcción de las dos torres más altas del país deja innumerables lecciones. La aventura recién comienza, porque seguramente tras la ejecución habrá nuevas páginas para escribir sobre estos hitos de la industria de la construcción. ■

(*) Vórtice, flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corrientes cerradas.
(**) LEED, Líderes en diseño energético y mediambiental, perteneciente al US Green Building Council.

EN SÍNTESIS

Meses e incluso años de planificación y gestión, depurada arquitectura y altas exigencias de ingeniería y construcción caracterizan a las dos megatorres actualmente en construcción en la capital.

La Torre Costanera, principal atracción del mall Costanera Center, aspira a constituirse en un ícono de la ciudad y el rascacielos más alto de Sudamérica, totalizando 60 pisos y 300 metros de altura. Entre los hitos de la construcción destaca el diseño, a cargo del arquitecto de reconocido prestigio internacional, César Pelli, y la ingeniería, que conjugó los requerimientos de circulaciones verticales con las estructuras soportantes y las condiciones sísmicas y de viento.

En tanto, Titanium La Portada, cuenta con tecnología especial para optimizar el uso de la energía en la construcción. Esto incluye detallados análisis sobre materiales y soluciones constructivas para clasificar dentro de los parámetros que exige la certificación LEED.

Los avances de la ejecución y las posteriores evaluaciones a la puesta en marcha de estos recintos, significarán nuevos retos a la industria.