

- Se trata del remate superior arquitectónico de la Torre 2 del proyecto Costanera Center. Una estructura metálica, anclada en la cima del rascacielos de hormigón armado, proyectada para ocultar el último piso mecánico del edificio. ■ Desafíos de diseño y cálculo, dan cuenta de una obra ejecutada a 300 m de altura. Es la culminación de la torre más alta de Sudamérica. Su punto final.

CORONAMIENTO METÁLICO GRAN TORRE COSTANERA

EL PUNTO FINAL

ALEJANDRO PAVEZ V.
PERIODISTA REVISTA BIT

COSTANERA CENTER sigue dando que hablar. Su complejidad y envergadura, lo ha transformado en uno de los proyectos más importantes del país, o quizás en el que más llama la atención. Y es que sus estados de avance, día a día revelan algo nuevo. A pocas semanas de su inauguración, Revista BIT visitó el megaproyecto y en un artículo anterior, dio cuenta de sus principales desafíos constructivos, especialmente los de su Torre 2 o Gran Torre Costanera que, con 300 m de altura, se presenta como el edificio más alto de Sudamérica.

El rascacielos, obra conjunta del arquitecto argentino César Pelli, asociado con la oficina chilena ABWB Arquitectos y Asociados, se ha transformado en un verdadero hito de la arquitectura y la construcción capitalina. "Un verdadero faro de la ciudad de Santiago", indican sus diseñadores. Con avances cada vez más sostenidos, este ícono proyecta su entrega para finales de 2013. En el intertanto, BIT se introduce nuevamente en su estructura, para dar a conocer los principales detalles de su remate superior. Un coronamiento de acero que, a ojos de sus calculistas de René Lagos Engineers, corresponde a una estructura "transparente, ligera y luminosa que da la sensación que la torre se diluye en el aire".

Su diseño y estructuración representaron, justamente, sus principales desafíos. El cálculo, incorporó factores sísmicos, de viento y de temperatura. Es la culminación de este proyecto. El punto final, de altos desafíos.



FICHA TÉCNICA

CORONAMIENTO METÁLICO TORRE COSTANERA

UBICACIÓN: Andrés Bello 2433-2477,
Providencia, Santiago, Chile

MANDANTE: Cencosud S.A.

ARQUITECTOS: Cesar Pelli /
ABWB Arquitectos y Asociados

MONTAJE: SALFA Montajes

INGENIERO CALCULISTA: René Lagos
Engineers

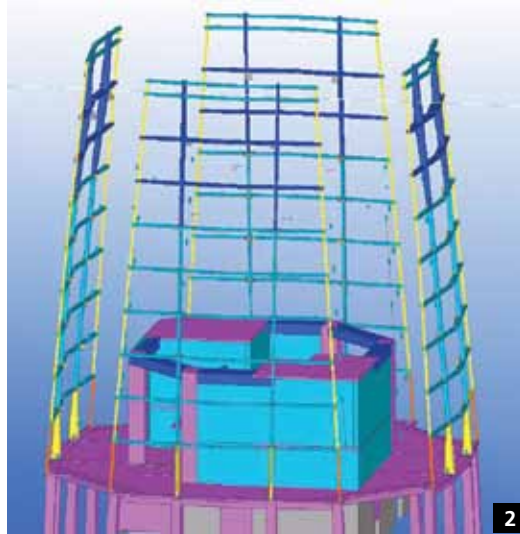
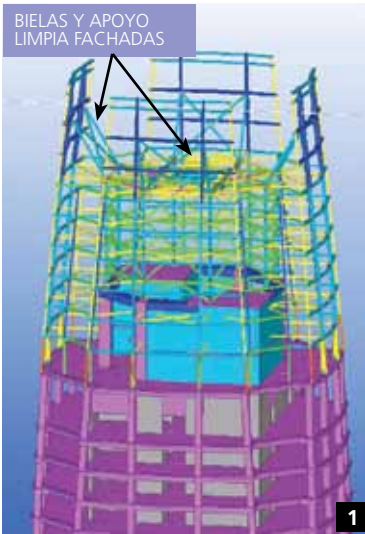
MAESTRANZA: EDYCE

PLANOS DE FABRICACIÓN: EDSA

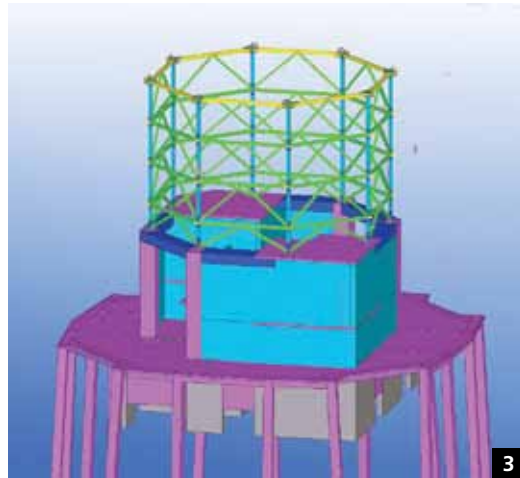
REVISIÓN ESTRUCTURAL: IEC Ingeniería

AÑO CONSTRUCCIÓN: 2012

BIELAS Y APOYO
LIMPIA FACHADAS



1. Coronamiento.
2. Subestructura exterior (velas).
3. Subestructura interior (octógono).



El desafío implicó diseñar una estructura de gran envergadura ubicada a 300 m, con 40 m de altura sobre la estructura de hormigón armado de la torre y una base octogonal de 40 m de diámetro, que pasa inadvertida para un observador a nivel de calle.



ESTRUCTURACIÓN Y DISEÑO

En este tipo de edificios, el tema de las instalaciones y equipos juega un rol fundamental. El piso mecánico del rascacielos se ubica en el nivel 7, que corresponde a la cubierta del mall ubicado a un costado de la Torre 2. No obstante, "cuando hay un rascacielos, se deben tener varios pisos mecánicos", puntualiza Yves Besançon, arquitecto a cargo del proyecto y socio de ABWB Arquitectos. Su número, dependerá de la altura. En este caso, en la parte intermedia, entre el piso 43 o 44, se proyectó un piso mecánico para resguardar las bombas para la distribución del agua, especialmente para el sistema de aire acondicionado. Luego, en la cúspide, sobre el nivel 63, se ubicó el último piso mecánico que, además de albergar los equipos mecánicos de ascensores y aire acondicionado será la estructura para la instalación de antenas de telefonía celular. "Esa es la manera en cómo hemos distribuido las especialidades y las instalaciones, de modo de hacerlo lo más racional posible. El objetivo es tener ductos que no sean gigantescos, porque si hay que subir con todo a gran altura, el núcleo empieza a ocupar tanto espacio útil que hace inviable el edificio", indica Besançon.

La coronación del edificio permite, justamente, ocultar el último piso mecánico, junto con las antenas que el diseño proyectó para ese lugar. El objetivo es que se instalen esos elementos, pero sin estropear la estética del edificio. Es por ello, que "se proyectó la gran coronación que va cubierta con cristales, al igual que el resto de las fachadas del edificio, pero que no es habitable, ahí hay solo espacios mecánicos y antenas.", agrega Besançon. "Esto significó un desafío en cuanto a diseñar una estructura de gran envergadura ubicada a 300 m, con 40 m de altura sobre la estructura de hormigón armado de la torre y una base octogonal de 40 m de diámetro, que pasara inadvertida para un observador a nivel de calle", explican en Rene Lagos Engineers.

Por requerimientos normativos y de uso, la estructura debía ser capaz de resistir las sollicitaciones extremas de viento, sismo y cambios de temperatura que ocurren a esa altura con un exigente estándar en el control de desplazamientos que permitiera garantizar un apoyo con mínimas deformaciones al manto de cristales que la envuelve. "Las cargas de viento son gigantescas, producto que la estructura representa verdaderas velas. Tiene una

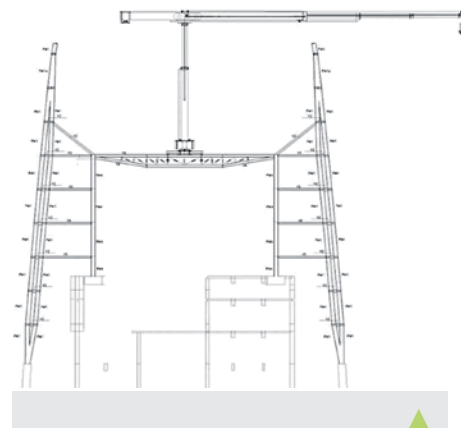
curvatura por un lado y no tiene nada por el otro. El diseño era bien curioso, porque arquitectura fue estricta en exigir una estructura muy esbelta. Eso nos restringió las posibilidades de estructuración que teníamos, finalmente, resultó una estructura muy pesada. Solicitamos, entonces, que nos dieran más libertad para proponer algo parecido, pero más económico. Pudimos bajar el peso original, agregando una estructura octogonal interior arriostrada de la cual sacamos unos puntales de tal manera que cuando estas velas quieran deformarse, en sentido radial al edificio, se afirmen en el octógono y en el plano tangencial, también pusimos diagonales para amarlo al octógono”, introduce René Lagos, calculista del proyecto y CEO de Rene Lagos Engineers.

En términos específicos, para enfrentar este desafío, se planteó un remate superior de acero que contiene un núcleo interior rígido, resistente a cargas laterales, que no es

visible desde fuera. En el perímetro de fachada se dispusieron elementos livianos y esbeltos que se caracterizan por tener baja rigidez lateral. Ambas estructuras se conectan con elementos esbeltos. “De esta forma se logró el objetivo arquitectónico (ligero al ojo del observador) con una adecuada protección de los cristales de la envolvente”, comentan desde la oficina de cálculo.

RESISTENCIAS

Tal como se señaló, para resolver la estructura de coronamiento, se contemplaron dos subestructuras. La primera, corresponde a una envolvente en el plano de fachada sobre la cual se fija la terminación, compuesta de marcos sísmicos planos que por sí solos son flexibles en su plano ya que por requisitos arquitectónicos, debían ser marcos sin arriostamientos. La segunda subestructura, es una estructura interior octogonal en planta, diagonalizada para darle rigidez lateral, ubicada



Por necesidades operacionales del proyecto, fue necesario incorporar apoyos para un limpiafachadas en la parte superior del octógono lo cual impuso requerimientos estrictos de las deformaciones relativas entre sus apoyos para permitir su funcionamiento seguro.

LAYHER


UN EQUIPO A LA ALTURA DE LAS EXIGENCIAS

Layher estuvo presente en el montaje de la estructura de coronación del edificio más alto de Sudamérica, donde la calidad y precisión de nuestros equipos, junto a nuestro soporte técnico, jugaron un rol fundamental para lograr un montaje rápido y seguro de la estructura. El trabajo se realizó en condiciones extremas y de máxima exigencia, a más de 300m de altura.

Sistema de andamio: Layher Allround.
Cantidad de equipo: 150 toneladas.
Contratista: Salfa Montajes.



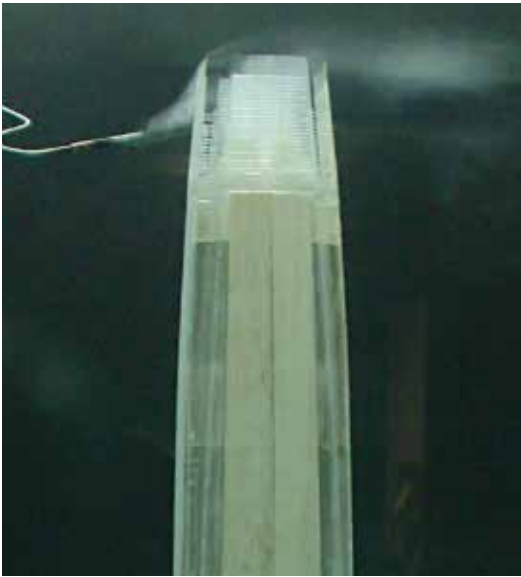
www.layher.cl

Layher. 

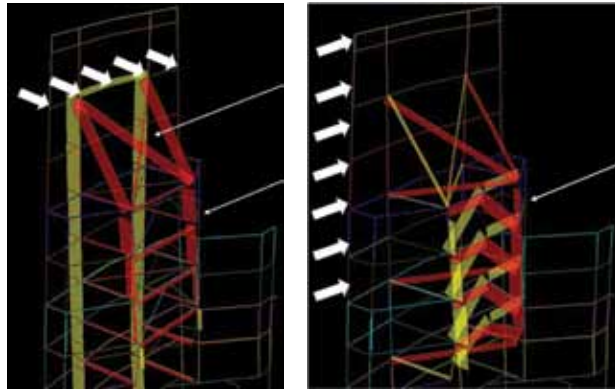
Siempre más. El sistema de andamios.

 CALIDAD Y SEGURIDAD ALEMANA

Santiago - Concepción - Antofagasta - Copiapó

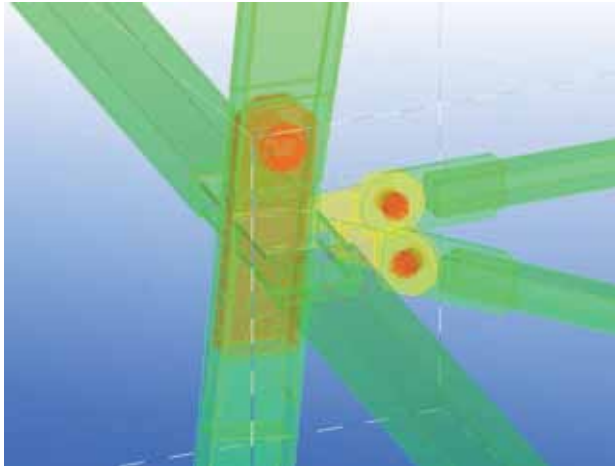
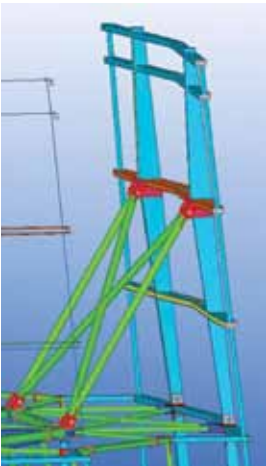


En sentido perpendicular al plano de las velas, las mayores deformaciones son producidas por la carga de viento, generando esfuerzos de tracción sobre los pilares principales de fachada cuando el viento empuja contra el edificio (Amarillo: Tracción; Rojo: Compresión).



El sismo controla las deformaciones en el plano de las velas, induciendo esfuerzos en la subestructura reticulada interior (Amarillo: Tracción; Rojo: Compresión).

La carga máxima de diseño (presión + succión) fue de 500 kg/m².



sobre el núcleo central de muros del edificio. Su función es darle apoyo lateral a la subestructura perimetral externa a la cual se conecta a través de bielas y rigidizar el sistema completo frente a cargas eventuales. Por necesidades operacionales del proyecto, fue necesario incorporar apoyos para un limpia-fachadas en la parte superior del octógono. "Este, corresponde a un elemento telescópico que emerge del eje del edificio. Se asoma por el centro, sobre un pilar, se percibe un brazo del cual colgará el canasto que cargará a los limpiadores de los cristales. Será controlado por computación y se acercará o alejará de la fachada dependiendo de su forma. Tiene un sistema para que el viento no lo haga chocar con el edificio", añade Besançon. Esta situación, impuso requerimientos estrictos de las deformaciones relativas entre sus apoyos para permitir su funcionamiento seguro.

La estructura de coronamiento fue diseñada para resistir cargas de peso propio, viento, sismo y temperatura, cumpliendo un límite de 23,7 mm para las deformaciones relativas entre los apoyos superior e inferior de un mismo cristal (Hcristal=4,2 m) impuesto para proteger la envolvente vidriada.

Según indican en la oficina de ingeniería de René Lagos, las principales cargas externas que actúan sobre el coronamiento de la Torre 2 son las siguientes:

Se tomó la precaución de diseñar un sistema articulado con rótulas y pasadores que permiten una desangulación entre la subestructura interior y la exterior de la corona cuando sus apoyos descienden en forma diferente.



ANDAMIOS MULTIDIRECCIONALES

PARA REALIZAR el coronamiento de la Torre, la constructora recurrió al sistema de andamio "Allround" (multidireccional), cuya principal característica es su capacidad para adaptarse a geometrías complejas, representadas en esta faena por la pendiente de la construcción. El "corazón" del sistema es la roseta del nudo que se ubica en los verticales cada 50 cm. Es de forma circular y posee ocho perforaciones que permiten la variación continua del ángulo de orientación en planta, así como el cambio de la longitud de cada módulo de andamio, que para esta obra variaron desde los 3,07 m en algunos casos hasta 0,73 m en otros. El "Allround" de Layher está fabricado con aceros de alta resistencia y sus elementos son galvanizados para garantizar una correcta resistencia a la corrosión. Cabe destacar que este sistema no requiere la utilización de tornillos, ya que la conexión se materializa a través de la fijación de una cuña a la roseta, originando un nudo rígido que simplifica el montaje.



■ VIENTO

El manto de cristales que envuelve la estructura tiene una forma alada (velas) que propicia la generación de turbulencia en torno a sus aristas, situación no contemplada en la norma de viento vigente, NCh432of71. Por este motivo, se realizó un trabajo de investigación en los laboratorios de RWDI en Canadá mediante maquetas a escala (1:400) y ensayos en túnel de viento para conocer el comportamiento de la torre como un todo y las presiones en las singularidades geométricas del muro cortina en toda la altura. Especial importancia tuvo la evaluación del coronamiento frente al viento, midiendo las presiones y succiones que se generaban. La carga máxima de diseño fue (presión + succión) de 500kg/m².

■ SISMO

El efecto sísmico en el coronamiento, se determinó a partir de las disposiciones del capítulo 7 de la norma NCh2369of.03 "Elemen-

tos Secundarios y Equipos Montados sobre Estructuras". Para esto, indican en René Lagos Engineers, "se consideró el punto 7.2.2 de dicha norma, en la cual se contempla una modelación del coronamiento dentro de la estructura general del edificio, es decir que contiene todos los elementos que interactúan con él. El modelo se analizó para el espectro de pseudoaceleraciones del estudio de riesgo sísmico del proyecto y para una serie de seis registros artificiales correspondientes al sismo de diseño".

Los resultados indicaron que la aceleración máxima obtenida del modelo general es de 0.5 g en el piso 62 (último piso ocupado). A nivel de la estructura metálica de coronamiento se obtuvo una aceleración máxima esperada de 0.8 g. "Finalmente se consensuó con el revisor de cálculo diseñar la estructura metálica considerando una aceleración horizontal máxima de 1g. Este valor es concordante con el punto 7.2.2 de la

NCh2369 of.03, que indica que la fuerza lateral no requiere ser mayor al peso propio", indican los calculistas.

Dado el límite impuesto a las deformaciones relativas entre apoyos de los cristales, el diseño de la estructura queda controlado por deformaciones y no por esfuerzos. El sismo controla las deformaciones en el plano de las velas, induciendo esfuerzos en la subestructura reticulada interior. En sentido perpendicular al plano de las velas, las mayores deformaciones son producidas por la carga de viento, generando esfuerzos de tracción sobre los pilares principales de fachada cuando el viento empuja contra el edificio. Esto requirió diseñar anclajes de tracción embebidos en la base de los pilares.

■ TEMPERATURA

Establecidos los gradientes de temperatura considerados en el diseño de los muros cortinas del proyecto general, se estableció un

PASADO, PRESENTE Y FUTURO CON FORM SCAFF



(56-52) 541 561 / Río Copiapó 1949 - Plaza Comercio 2 - Módulo 8 - Copiapó

Visite nuestro
nuevo sitio
web



(56-2) 738 5019
www.formscaff.cl
info@formscaff.cl

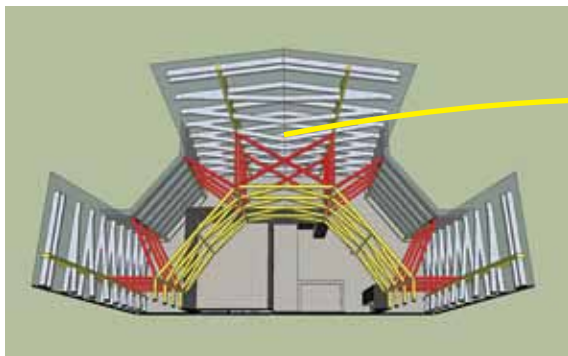


Participar en la restauración de un patrimonio arquitectónico, colaborar en la construcción de un centro comercial que cambiará la forma de vida del sector en que se emplaza, es materia de orgullo para Form Scaff.

En estos desafíos tuvimos como aliados a los andamios Kwik-Stage y al alzaprimado de aluminio de gran altura Alu-Up, siempre apoyados de nuestras vigas Multi Form.

Agradecemos a nuestros Clientes el entregarnos la oportunidad de sentir este orgullo por lo que hacemos, y nos motiva a seguir en el futuro con más fuerza y mejor.

En sentido perpendicular al plano de las velas, las mayores deformaciones son producidas por la carga de viento, generando esfuerzos de tracción sobre los pilares principales de fachada cuando el viento empuja contra el edificio. Esto requirió diseñar anclajes de tracción embebidos en la base de los pilares.



Octógono interior, una subestructura sismoresistente. En el corte, se identifican los arriostamientos horizontales para enfrentar las deformaciones de las velas.



gradiente de temperatura de 40°C para la estructura de coronamiento.

■ ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO DE APOYO

Según estudios de acortamiento a largo plazo (creep - fluencia, deformación lenta del material) en la torre, se concluye que existe un descenso diferencial que aumenta a lo largo del tiempo entre anillo perimetral de pilares y el núcleo de muros. De acuerdo a los estudios, se estableció que en un plazo de 30 años, el acortamiento esperado de las columnas será de 12 cm y en el núcleo de 8 centímetros. Esto se consideró durante la construcción del edificio estableciendo medidas de mitigación sobre la base de correcciones en los niveles de hormigonado. Para el coronamiento metálico, el sistema de interconexión entre la estructura perimetral (velas) y

la estructura interior (octógono) debe permitir los asentamientos diferenciales verticales que ocurrirán en el largo plazo entre el núcleo y perímetro sin generar esfuerzos adicionales en el sistema estructural de la corona, ni imponer restricciones a la estructura de hormigón armado para que estos no ocurran. Para ello, “se tomó la precaución de diseñar un sistema articulado con rótulas y pasadores que permiten una desangulación entre la subestructura interior y la exterior de la corona cuando sus apoyos descienden en forma diferente”, indican los ingenieros calculistas.

Por otro lado, además de aspectos propios del cálculo estructural, el diseño de los elementos requirió de una cercana coordinación entre las especialidades involucradas. “El diseño estructural final fue el resultado de una cooperación entre el mandante, constructora, maestranza, especialistas en muro cortina y limpiafachadas. Para estos efectos se realiza-

ron modelaciones preliminares que permitirían informar al mandante el peso de la estructura, para realizar evaluaciones económicas en etapas tempranas de su desarrollo. Gracias a esto, se logró un diseño que –si bien mantiene el espíritu del diseño original– redujo en un 45% el peso final respecto del diseño original de arquitectura”, recalcan en René Lagos Engineers.

FABRICACIÓN Y MONTAJE

Dado las complejidades geométricas, para la modelación y el diseño del coronamiento, resultó vital el uso de programas tridimensionales. El análisis se hizo con SAP2000 y la modelación con TEKLA Structure, asegurando un calce perfecto, según la ingeniería, en la fabricación y en el montaje de la estructura.

Para la elaboración de la estructura, se consideraron planchas A572 gr. 50; tubos A500gr C; pernos c/hilos A449 o A193 y



Cada elemento fue pre armado al pie del edificio y elevado por grúa para su montaje. Según la estimación de la oficina calculista, se avanzó un piso por semana en velas y octógono.

EN SÍNTESIS

→ La corona consiste en un elemento metálico irregular de 40 m de altura sobre la estructura de hormigón armado de la torre, con una base octogonal de 40 m de diámetro. El objetivo es que fuera lo menos visible al ojo de un observador a nivel de calle.

→ El desarrollo del coronamiento la Gran Torre Costanera, cumplió las exigencias de cálculo establecidos en estándares internacionales de diseño para estructuras de este tipo, logrando al mismo tiempo satisfacer adecuadamente los requerimientos arquitectónicos solicitados sobre la base de una estructura económica para la envergadura del proyecto.

→ El cálculo consideró los factores del viento (testeados en un túnel de viento en Canadá), sismo, temperatura y asentamientos diferenciales.

→ El remate superior de acero contiene un núcleo interior rígido, resistente a cargas laterales, que no es visible desde fuera. En el perímetro de fachada se dispusieron elementos livianos y esbeltos que se caracterizan por tener baja rigidez lateral. Ambas estructuras se conectan con elementos esbeltos.

→ La coordinación oportuna con todas las especialidades involucradas (arquitectura, constructora, maestranza, montajistas, muro cortina y limpiafachadas) y el uso de tecnología de punta para la modelación tridimensional de la estructura (Tekla, SAP2000, Etabs) permitió realizar una obra debidamente planificada, lo que minimizó la ocurrencia de situaciones inesperadas durante las etapas de fabricación y montaje.

pasadores A572 gr. 50 o SAE4140. Respecto a las dimensiones de cada elemento, en los perfiles de las velas, las cuerdas son de 200x400x8 mm; los pilares cajón de 400x200x12 mm y los pilares tubulares de 6"x8 mm. En cuanto a los perfiles del octógono, los pilares corresponden a tubos de 14"x20 y 14"x12; los chevrones de 200x200x8 mm y las cuerdas de 250x250x8 mm. La sección tipo cajón de las bielas entre subestructuras es de 160x160x6 mm y en el puntal de las velas de 240x240x10 mm.

Las distintas partes del coronamiento (unidades de montaje), formadas por varios elementos fueron pre armadas al pie del edificio y elevadas por grúa para su montaje. Según la estimación de la oficina calculista, se avanzó un piso por semana en velas y octógono. "Para asegurar un buen comportamiento de la estructura en el tiempo, fue necesario protegerla mediante la aplicación de una pintura epóxica. Las unidades de montaje de la estructura interior ortogonal fueron concebidas en secciones que pudieran apertarse in-situ. La estructura exterior, por razones arquitectónicas, debió considerar secciones soldadas en terreno. Para asegurar una correcta ejecución en dichas secciones y uniones, se implementó un riguroso control de calidad que requirió la validación del 100% de las soldaduras realizadas en obra", concluyen en René Lagos Engineers.

Es el coronamiento de la Gran Torre Costanera, un hito de diseño y cálculo, en el edificio más alto de Sudamérica. El punto final, con altos desafíos. ■

www.renelagos.com, www.abwb.cl

(*) En referencia al artículo publicado por René Lagos Engineers en el texto del Primer Congreso de Proyectos de Ingeniería Estructural de la AICE.

ARTÍCULO RELACIONADO

- "Proyecto Costanera Center. Altos Desafíos". Revista BIT N°86. Septiembre 2012, pág. 28.

GEOPIER CIMENTACION INTERMEDIA® PILAS DE GRAVA COMPACTADA



ELEMENTOS RIGIDOS DE ALTA RESISTENCIA
CONTROL DE ASENTAMIENTOS
CAPACIDAD DE CARGA SUPERIOR
AHORRO EN COSTOS DE CIMENTACIÓN

MUROS
DE CONTENCION
www.sistemasgeotecnicos.cl

EMIN
SISTEMAS
GEOTECNICOS S.A.



MUROS TEM O MSE ANTISISMICOS
SISTEMA PREFABRICADO
NO UTILIZA ACERO
TERMINACION ESTETICA
ESTRIBOS DE PUENTES



geoemin@emin.cl - Tel. 299 8001 299 8005