

El administrador de obra responsable de la ejecución de la emblemática Torre Agbar, Álvaro Álvarez, visitó Chile para contar detalles técnicos de un proyecto que forma parte insustituible del paisaje de Barcelona. El profesional analiza los retos constructivos, especialmente el aporte de la enfierradura industrializada.

TORRE AGBAR, BARCELONA

LOS DESAFÍOS EN TERRENO



MARCELO CASARES
EDITOR REVISTA BIT

A

UNQUE se inauguró en 2004, la construcción de la Torre Agbar en Barcelona, España, sigue dando que hablar. No es para menos. El particular diseño del edificio institucional del Grupo Agbar, holding constituido por más de 230 empresas especializadas en el ciclo integral del agua, salud, inspección y certificación, entre otros, no pasa inadvertido a pesar de encontrarse en una ciudad plagada

de obras de alta inspiración arquitectónica.

Sin embargo, allí está la Torre Agbar del arquitecto Jean Nouvel. Su particular diseño que combina formas ovoideas, elipsoides y cilindros, recibió los más diversos comentarios del mundo de la arquitectura. Más allá del debate estético, no se discute la complejidad de su ejecución. Los 142 m de altura, los muros inclinados y curvos, las 4.400 ventanas distribuidas en forma asimétrica e irregular, y un plazo de entrega exigente, resultaron algunos de los principales desafíos que enfrentaron los profesionales que llevaron



FICHA TÉCNICA

Altura: 142 metros

Número de plantas sobre rasante:

32 plantas + 3 plantas técnicas

Número de plantas bajo rasante: 2 plantas

auditorio – servicios + 2 de estacionamientos

Total superficie construida: 50.693 m²

Superficie total de oficinas sobre rasante:

30.000 m²

Superficie total bajo rasante: 17.500 m²

Superficie en plantas técnicas de

instalaciones: 3.210 m²

Superficie en servicios y auditorio: 8.351 m²

Superficie de estacionamientos: 9.132 m²

Número de ventanas: 4.400

Metros lineales aproximados de tuberías

de agua: 80.000 m

Metros lineales aproximados de tuberías

de cableado: 600.000 m

Metros lineales de pasarelas

exteriores: 3.000 m

Número de láminas de vidrio

exteriores: 60.000

Ascensores: 1 montacarga, 8 ascensores.

Inversión: 132 millones de euros

- 30.000 m² de hormigón

- 80 km lineales de tubería de agua

- 600 km de cableado

EQUIPO TÉCNICO

Promotor y Propietario: Layetana S.L.

Proyecto de Arquitectura: Architectures
Jean Nouvel S.A.

Proyecto de Instalaciones: Ibering S.A.
- Gepro S.A.

Proyecto de Estructura: Robert Brufau
Associats, S.A., Obiol, Moya y Asociados S.L.

Consultores de Fachadas: Arnauld de Bussierre
& Asociados

Ejecución de Estructuras e Interiores:

Dragados Obras y Proyectos S.A.

Ejecución de Instalaciones Mecánicas: Axima

Ejecución de Instalaciones Eléctricas: Emte

Fachada: Permasteelisa.



adelante la construcción. El máximo responsable en terreno fue Álvaro Álvarez, en aquel momento gerente de la Unión Temporal de Empresas (UTE), que ejecutó la torre. El profesional estuvo recientemente de visita en Chile, invitado por las empresas Gerdau Aza y Peri, y repasó para Revista BIT los principales retos de la ejecución de la Torre Agbar, destacando la planificación, enfierradura y moldaje, entre otros.

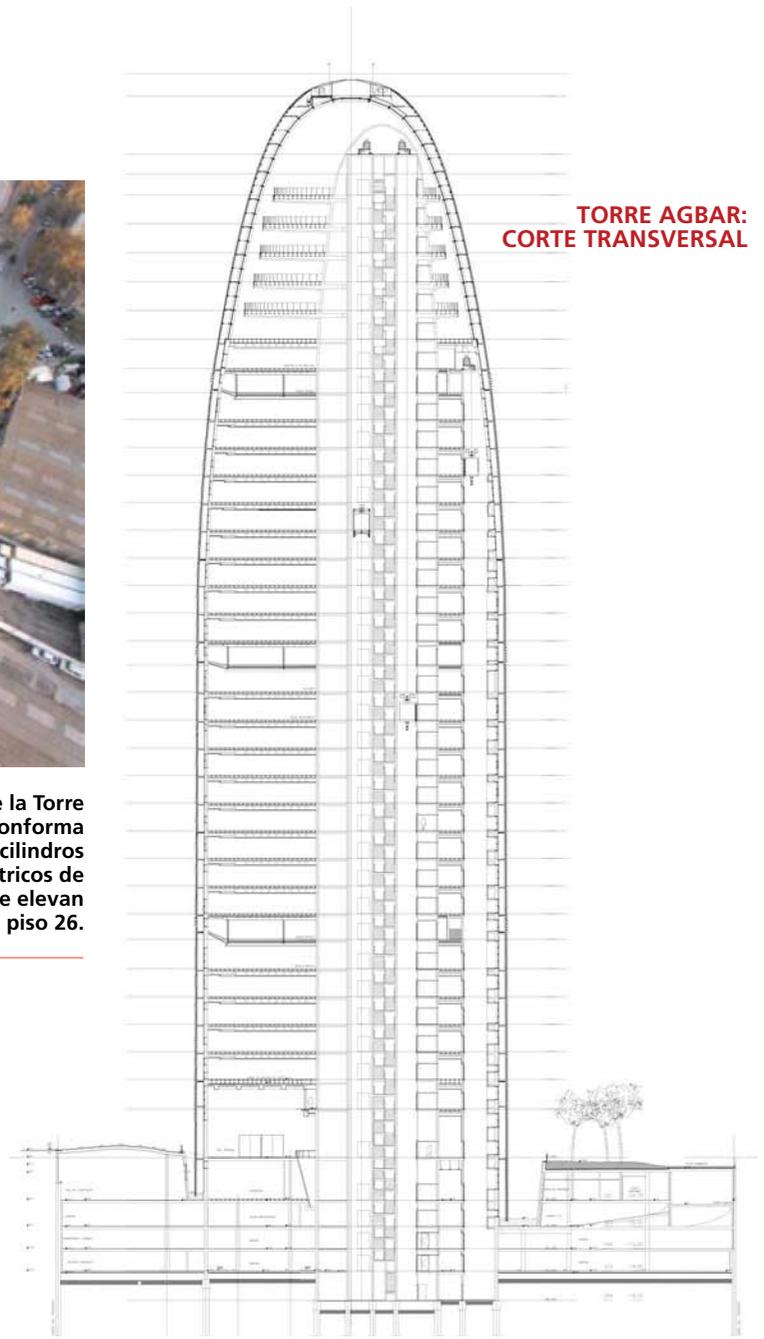
Muro exterior y núcleo

La sola descripción del edificio no representa una tarea sencilla. Alcanza los 142 m de altura y se compone de 35 pisos, considerando 3 plantas técnicas. Además, cuenta con 4 subsuelos, uno destinado al auditorio. La estructura se conforma de dos cilindros no concéntricos de hormigón que se elevan hasta el piso 26, rematando en una cúpula de acero y cristal.

Los datos técnicos, entregados por Álvarez, indican que el muro exterior nace en el cimiento y alcanza los 110 m de altura. Su principal particularidad se observa en las 4.400 ventanas de 92,5 x 92,5 cm ubicadas en forma asimétrica. La distribución de las aberturas responde a la incidencia del sol en la fachada, el aprovechamiento de la luz natural y las características del clima en la ciudad catalana. "Tal cantidad de ventanas, obligó a que el perímetro exterior sea un gran muro que no permite pórticos ni transmisión vertical de cargas hasta la fundación", señala el profesional.

Para definir los espesores del muro exte-

La estructura de la Torre Agbar se conforma de dos cilindros no concéntricos de hormigón que se elevan hasta el piso 26.



**TORRE AGBAR:
CORTE TRANSVERSAL**

rior se segmentó el edificio en tres tramos, que coinciden con la división en tercios de los 110 m de altura. Así, en el primer tercio, que comienza en el subsuelo, el espesor alcanza los 50 centímetros. En el segundo tramo es de 40 cm y en el último tercio de 30 centímetros. El intradós del muro asciende en forma continua, estableciendo las reducciones de espesor en la cara externa.

Nada es fácil, y mucho menos en este proyecto. "A partir de los 76 m de altura, el muro se inclina sobre sí mismo, formando una curva poligonal hasta la planta 26", dice Álvarez. Otro dato. Los radios del ovoide, que determinan la dimensión de la planta, alcanzan los 21 m en base y 16,33 m en los pisos superiores.

Al igual que el muro exterior, el núcleo interior nace en los cimientos pero se extiende hasta los 132 metros de altura, donde se cierra sobre sí misma formando una pequeña cúpula de hormigón. En planta, el núcleo presenta forma de ovoide de 16,3 x 15,9 m orientado de manera que su mayor dimensión coincida con la del muro exterior. El espesor del núcleo varía entre los 25 y 30 centímetros.

Plantas y cúpula

Las plantas de subsuelo son de hormigón armado con pilares. Las de rasante hasta el piso 26 son de vigas metálicas y elementos colaborantes, que se sueldan a chapas empotradas en los muros, sin pilares y con una

luz máxima de 15 metros. Las vigas de acero se extienden desde el núcleo interior al muro exterior. Se colocan y orientan de manera que su separación sea la menor posible, manteniendo una distancia entre sus ejes de 3 metros. Las vigas se orientan paralelas a los ejes principales de la elipse del muro exterior. Así, en determinadas zonas unas vigas descansan sobre otras, originando un número importante de brochales, es decir, vigas con forjados de grandes luces.

La falta de coincidencia de los centros de los muros resistentes, exterior y núcleo, provoca una solicitud heterogénea de los elementos de acero generando una jerarquía estructural de las vigas, y de hecho, algunas descansan sobre las de mayor resistencia.

Las plantas que ocupan los últimos seis

Las plantas de los últimos 6 pisos se sustentan en el núcleo central (derecha). Las plantas hasta el piso 26 son de vigas metálicas y elementos colaborantes, que se sueldan a chapas empotradas en los muros (abajo).



pisos presentan una estructura diferente a la del resto de la torre. La originalidad reside en que nunca alcanzan el perímetro de la construcción, sustentándose en el núcleo central a través del sistema de voladizo. El diseño implica vuelos de hasta 10 m, a través de losas postensadas de espesor variable entre 25 y 50 centímetros.

Finalmente, la cúpula consiste en una estructura metálica conformada por 26 meridianos y 19 paralelos, que sustenta el doble acristalamiento de la fachada. "La Torre Agbar representa una estructura compleja por su particular diseño. Para materializar el proyecto se emplearon distintas soluciones, materiales y sistemas constructivos", sostiene Álvarez.

Planificación total

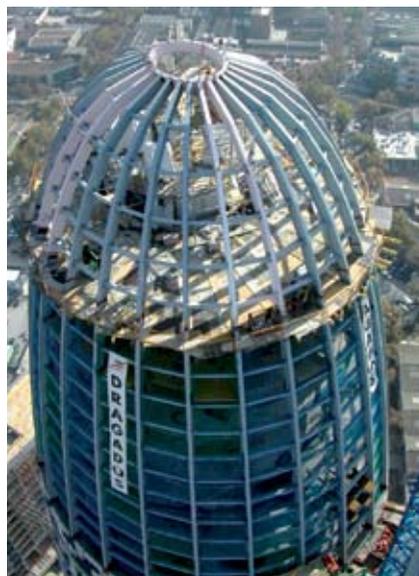
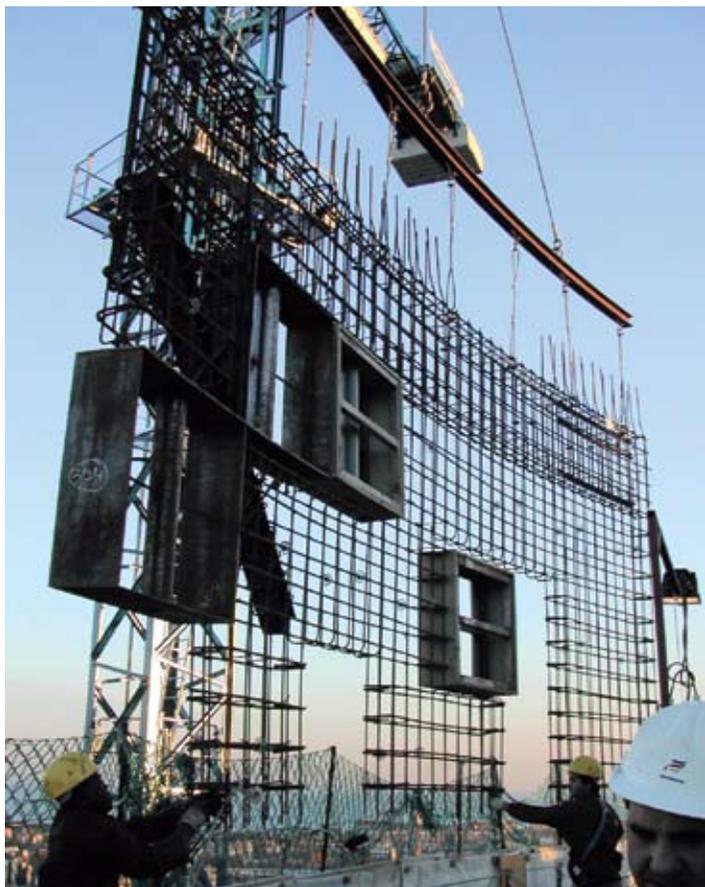
La descripción de los distintos elementos estructurales que conforman el proyecto, provoca cierta angustia. ¿Cómo ejecutar tanta diversidad de especialidades? ¿Cómo responder a un diseño tan peculiar? ¿Cómo cumplir con los plazos sin apartarse de los límites presupuestarios? Preguntas difíciles de responder. Es más, las distintas faenas debían mantener el mismo ritmo de avance para permitir que la obra ganara altura en forma armónica. Y cada especialidad era un desafío en sí misma. Repasemos. Para completar un piso se debían ejecutar los muros de hormigón del exterior, de los ascensores y del núcleo central. Además, había que montar la estructura metálica que soporta las plantas, ignifugarla y hormigonar la losa del núcleo. Al hacer todo esto, recién se podía avanzar a la planta superior. "Hubo que planificar cada una de las faenas, de manera de avanzar en la obra coordinadamente. No se puede olvidar que existen limitaciones de espacio y a su vez de maquinarias. La programación del trabajo de las grúas resultó clave, estableciendo prioridades como el movimiento de moldajes, la elevación de enfierradura y el vertido de hormigón", afirma Álvarez.

Y tan mal no les fue. En sólo cinco días se construía un piso. En un principio, la programación estableció que la ejecución de una planta alcanzaría los 7 días, considerando el empleo de sistemas tradicionales de moldaje, sumamente sensibles a las incidencias del clima. Además, no es lo mismo trabajar en el segundo piso que en el 26, donde se depende fuertemente de la maquinaria de elevación y cualquier retraso en una faena implica la demora en las especialidades que le suceden.

Hubo que estudiar, y mucho. "Se efectuó un estudio integral de todas las actividades que intervienen en el crecimiento de la estructura sobre rasante para disminuir al máximo la desviación de plazos y establecer un avance de cinco días por piso", recuerda el profesional. Así fue. Siguiendo una detallada planificación de las actividades simultáneas y aplicando innovación tecnológica, se cumplió la meta. En una semana se construía un piso completo.

Moldaje auto-trepante

"En un proyecto de estas características, no se puede hablar de uno o dos aspectos determinantes para cumplir con los exigentes



Estructura metálica empleada en la cúpula.

La obra contó con rigurosas medidas de seguridad.

Elevación de enfierradura industrializada, que incluye marcos de ventanas.



plazos. Sin embargo, el moldaje auto-trepante y la enfierradura industrializada resultaron muy importantes”, sostiene Álvarez.

Entonces veamos. No es menor que la Torre Agbar sea la primera obra española donde se aplicó el sistema de encofrado auto-trepante. La modalidad consiste en un conjunto de moldajes que incorpora un sistema hidráulico de elevación, con capacidad para subir una planta tipo (3,70 m) sin necesidad de grúa y en unas pocas horas.

Entre las ventajas de la aplicación del sistema se destacan la formación de grandes módulos de encofrado debido a que como mínimo se obtienen 200 kN de capacidad de trepa, que implican menos uniones entre módulos y mayor rendimiento de moldaje, en comparación con la modalidad estándar. Además, se realiza independientemente de las condiciones climáticas, porque se puede trabajar con velocidades de viento de hasta 60 km/h. El auto-trepante no requiere grúas, permitiendo reducir el número de éstas y destinarlas a otras faenas. Finalmente, la especialidad se realiza con total seguridad y se logran mejores terminaciones.

Enfierradura industrializada

La enfierradura debía estar en la misma sintonía. Definitivamente, no se podía recurrir al sistema tradicional y las razones eran evidentes por la dificultad de acceso a la obra, espacio de acopio insuficiente, elevado número de personal trabajando simultáneamente, movilidad reducida y riesgos en elevación de materiales. A esto se sumaron los problemas de calidad como la dificultad de colocación de elementos auxiliares como crucetas, negativos de ventana y placas de anclaje; las tolerancias de geometría; complejidad para la colocación de barras curvas y para los recubrimientos.

Si también se considera la gran cantidad de ventanas y elementos metálicos de refuerzos (crucetas) que incluye la enfierradura, no quedó más alternativa que recurrir al sistema industrializado. Así, se pudieron conformar paneles prefabricados de 3,7 m de altura y una longitud de entre 9 y 11 metros. Las crucetas y los moldes de ventana se amarran directamente con los paneles. “Con la enfierradura industrializada pudimos desarrollar de forma eficiente, por ejemplo, la

armadura de los muros curvos del núcleo interior que cuentan con cinco radios distintos. Para una mayor velocidad de construcción, el premontaje de la armadura se hacía en fábrica en encofrados que simulaban los diferentes radios. Así, la enfierradura llegaba a la obra lista para su instalación”, afirma el ingeniero.

Las conclusiones del sistema industrializado resultan altamente positivas. El ciclo de ejecución de armadura de muro alcanzó los 6 días por piso, en comparación de los 12 que requiere el tradicional. La utilización de grúas para la elevación de enfierradura se reduce en un 70%, ítem fundamental en edificación en altura. Mejora importante en seguridad, porque gran parte de los trabajos se realizan en el suelo. Facilidad de control. Mejora en calidad de geometría, recubrimientos, y tolerancias de ejecución.



La cúpula consiste en una estructura metálica conformada por 26 meridianos y 19 paralelos, que sustenta el doble acristalamiento de la fachada.

nuestro país dictó una serie de charlas y observó la construcción de rascacielos señalando al respecto que “en Chile existen los profesionales, los materiales, tecnologías y conocimientos para ejecutar obras tan complejas como la Torre Agbar”. ■

www.torreagbar.com

NOTA: Más información del proyecto como fachada y concepto arquitectónico en BIT 35, página 46, www.revistabit.cl

EN SÍNTESIS

La construcción de la Torre Agbar de Barcelona, inaugurada en 2004, representó un tremendo reto técnico. El proyecto, del arquitecto Jean Nouvel, combina formas ovoides, elipsoides y cilindros. La estructura se conforma de dos cilindros no concéntricos de hormigón que se elevan hasta el piso 26, rematando en una cúpula de acero y cristal. En la torre de 142 m de altura destacan los muros inclinados y curvos, y las 4.400 ventanas distribuidas en forma asimétrica e irregular.

BIT 58 ENERO 2008 ■ 69

Más desafíos

Los retos abundaron en otras especialidades. Las seis plantas de losas postensadas se debían reapuntalar, porque el peso de los voladizos durante el hormigonado superaba la carga admisible para la losa inferior. Para evitar el reapuntalamiento se crearon grandes vigas de celosía con las vigas de las plantas 25 y 26, de las cuales nacen cinco pilares metálicos provisionales que sirven de apoyos intermedios a las losas postensadas.

La coordinación de las instalaciones no resultó una tarea simple. Se analizó la relación

de entrega. Se programaron las especialidades, los recursos, la logística y los abastecimientos de cada faena para obtener el máximo resultado. Además, se habilitaron los medios de elevación para personas y materiales, que exigían las instalaciones eléctricas y sanitarias del edificio.

En conclusión, un proyecto único con múltiples aristas en diseño y ejecución. “Fue un tremendo desafío para todo el equipo, siendo una obra pionera en la aplicación de nuevas tecnologías como el encofrado auto-trepante”, concluye Álvaro Álvarez, quien en



SOLETANCHE BACHY
Apóyate en nosotros



Teléfono: (56-2) 5849000

E-mail: sbc@soletanche-bachy.cl

Url: www.soletanche-bachy.cl

BASE REGIONAL. 40 AÑOS EN CHILE.



OBRAS MINERAS



Desarrollo y Fortificación de túnel.



GEOTECNIA Y OO.CC.



Cortina de Inyecciones en tranque de relave.



PERFORACIONES MINERAS Y SONDAJES



Sondajes diamantinos sobre 4500 msnm.