

TORRE AGBAR

Eficiencia energética en un edificio de concreto

Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es: ingrid@fco.uo.edu.cu

Cuando en 2011, la Comisión Europea designó a la Torre Agbar (acrónimo de Aguas de Barcelona) con el título de "Edificio verde"; un nuevo hito resplandecía en el argumento de las construcciones inteligentes.

En el marco constitucional de la Unión Europea fue distinguida la torre; mayormente por dos atractivas cualidades, que entonces revolucionaban a los proyectos tradicionales: en principio por su eficiencia energética, así como también por las reducidas emisiones de CO₂ a la atmósfera, si este se compara con edificios de similares características.

A pesar de su controvertido diseño, la Torre Agbar es no solo un ícono de la ingeniería y la arquitectura de la ciudad de Barcelona; sino también un ejemplo más de lo que en la actualidad se conoce como edificio inteligente, además de constituir un atractivo turístico a nivel mundial. No fueron pocos los detractores, que entre ciudadanos y expertos criticaron su construcción; por características que rompían, lo que para ellos era el entorno arquitectónico tradicional de la capital de Cataluña.

Imponente y desafiante, fue inaugurada oficialmente el 16 de septiembre de 2005 por los reyes de España, convirtiéndose en su momento en el tercer rascacielos más alto de Barcelona. Erigida en la confluencia de la avenida Diagonal y la calle Badajoz, junto a la plaza de las Glorias (Fotografía # 1), engalana la torre el cielo de la ciudad catalana; con 34 niveles sobre el nivel de la calle (141.5 m) y 4 plantas subterráneas, hasta completar los 145 metros de altura.



Fotografía 1

Fotografía 2



32

Torre Agbar.



Fuente: www.gonback.com/galerias/Barcelona/slides/Torre_Agbar7.html.

Torre Agbar de noche.



Fuente: <http://verbarcelona.es/torre-agbar>

Su peculiar forma cilíndrica y la variada gama de colores que desprende a lo largo del día ((Foto # 2)), son dos de las cualidades que envuelven a la emblemática torre catalana, en un proyecto arquitectónico singular, cualidades que motivaron las controversias iniciales.

Con un coste de 130 millones de euros, posee el edificio poco más de 50 mil m² de superficie, de los que aproximadamente 30 mil m² son de oficinas; el resto son espacios destinados a otros servicios entre los que destacan: plantas para instalaciones técnicas, un auditorio, salas polivalentes, cafetería, estacionamientos y la sede corporativa en la torre, el Grupo Multinacional Agbar, propietario del edificio.

El diseño de la Torre Agbar corrió a cargo del eminente arquitecto francés Jean Nouvel, "Premio Pritzker" 2008, en colaboración con la firma b720 Arquitectos; con una fuerte influencia de algunos de los más representativos símbolos de la cultura catalana. En este aspecto sobresale la inspiración en la obra de Antonio Gaudí, el eminente arquitecto catalán.

Ha explicado Nouvel que la Torre Agbar se aleja de la entonces predominante concepción norteamericana de un rascacielos en forma de paralelepípedo. El proyecto parte de la idea inicial de una torre que emerge del suelo en una forma especial: como un geiser que brota desde el fondo del mar. Ideal para cumplir con uno de los propósitos del edificio, que sería albergar la sede de la compañía Agbar.

La construcción de la Torre Agbar estuvo a cargo de la empresa Dragados y se extendió por aproximadamente 6 años (Fig. 1); a partir de que a mediados de 1999 comenzaron las acciones para el acondicionamiento del sitio de emplazamiento. Afirman numerosas fuentes que en los trabajos de construcción de la torre participaron cerca de 1200 profesionales y operarios, consumiéndose un total de 25 mil m³ de concreto y cerca de 250 mil kilogramos de acero.

En la construcción se emplearon entonces materiales muy diversos, entre los que sobresalen además del acero y el concreto, el aluminio y el vidrio. La estructura a base de concreto fue revestida con chapas lacadas de aluminio de diferentes colores y laminas de vidrio de 120 x 30 cm, con distintas inclinaciones y opacidades; cubriendo un total aproximado de 16 mil m² de la superficie exterior del edificio. La integración de las chapas y laminas son las que ofrecen las distintas tonalidades que pueden advertirse en la torre, en función del momento del día y de la estación del año.

Figura 1

Secuencia de construcción de la Torre Agbar.



Nuevas prensas automáticas **AUTOMAX y PILOT** El poder de la innovación



CUSTOMER'S VALUE
DRIVES THE INNOVATION



Distribuidor exclusivo en México:
EQUIPOS DE ENSAYE CONTROLS, S.A DE C.V.
Av. Hacienda 42, Col. Club de Golf Hacienda,
Atizapán de Zaragoza, C.P. 52959, Estado de México.
Tels. (+52 55) 55 32 07 99, 55 32 07 22, 53 78 14 82

CONTROLS Your Partners
Masters of Technology

info@controls.com.mx
www.controls.com.mx

ADVANTEST

**Un sistema
servo-hidráulico
multifunción para
ensayos bajo**

**CONTROL
DE CARGA**

**CONTROL DE
DESPLAZAMIENTO Y
DEFORMACIÓN**

Conforme con normas y métodos:
ASTM, AASHTO, EN, EFNARC, NMX



- ▶ Control en lazo cerrado de alta sensibilidad
- ▶ Control automático de hasta 4 bastidores
- ▶ Control integral vía PC
- ▶ Rapido set up a través del módulo software de calibración

VARIAS CONFIGURACIONES

CONCRETOS, BLOQUES Y MORTEROS



CONCRETO LANZADO Y REFORZADO CON FIBRAS



ROCAS: PRUEBAS UNIAXIALES Y TRIAXIALES



La forma y estructura del edificio ofrecen parte de su singularidad. Se trata de una planta de forma casi elíptica, cuyos ejes principales miden 39.4 y 35.4 m. La torre exhibe de forma general un cuerpo cilíndrico que se cierra sobre sí mismo en la parte final, con una cúpula de acero y cristal (con 26 meridianos y 19 paralelos) que le confiere al edificio la insólita forma de una "bala" (Fig. 2 y 3).

Como puede advertirse de la planta, la torre se conformó a base de dos cilindros ovales no concéntricos de concreto, de forma tal que uno cubre totalmente al otro. En el cilindro exterior se ubican las aberturas y/o ventanas dispuestas de una manera aparentemente aleatoria; mientras que en el interior se encuentran los 8 elevadores, las escaleras y otras instalaciones.

En principio, la estructura de la torre se sustenta en dos tipologías estructurales diferentes. La estructura de la zona soterrada a base de losas y columnas de concreto armado, y la estructura superior de la torre; cuya solución no se adscribe a ninguna tipología convencional.

Ambos cilindros que componen la estructura son de concreto armado con resistencia a la compresión de 35 MPa. El exterior cubre desde la cota de la rasante hasta los 110 metros (planta 26), zona en que las losas se apoyan entre los dos cilindros (interior y exterior); a partir de este nivel, las losas se apoyan en el cilindro interior y en voladizo, sin contacto con el cilindro exterior; zona en que discurren los 5 últimos niveles de la construcción. El cilindro interior asciende hasta los 132 metros, y la cúpula de acero y vidrio cierra el edificio.

El muro del cilindro exterior tiene una singularidad y es que debió ser diseñado según una retícula teórica para garantizar las aberturas que establecía el proyecto. El módulo de dimensiones aproximadas de 92.5 x 92.5 cm, cubre toda la fachada y en él se disponen las aberturas; lo que obligó a que se proyectara un gran muro de carga armado "in situ" y que se desplanta desde la cimentación; este muro, dada sus características de geometría y las aberturas que tiene (flujo de esfuerzos hacia la cimentación), no se puede considerar como un entramado, sino como el "muro de carga" antes referido.

El sistema de piso contenido en el núcleo (círculo interior) se construyó a base de una losa de concreto armado de 20.0 cm de peralte. Asimismo, la parte del piso que va del núcleo hasta el círculo exterior se cubre con un sistema mixto de vigas de acero y lámina acanalada de 6.0 cm de peralte, que posteriormente se completa con una capa de concreto colada en "in situ" de 5.0 cm de espesor ("losacero").

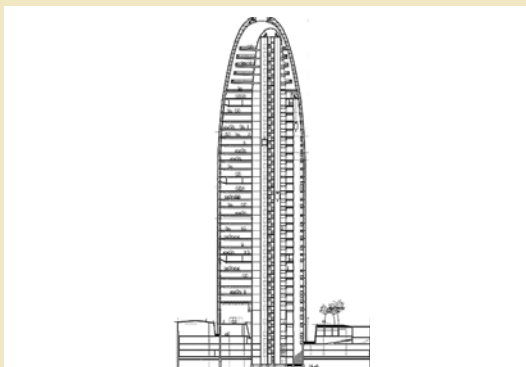


Figura 1

Figura 2

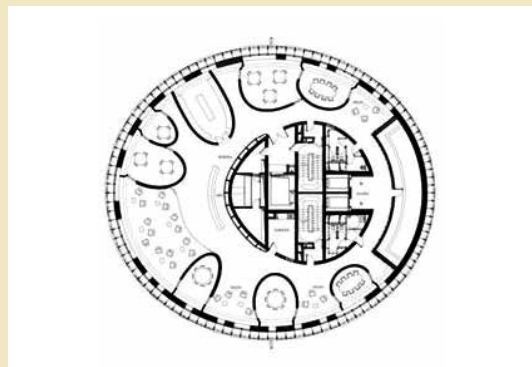


Sección transversal de la Torre Agbar.



Fuente: Adaptado de: http://en.wikiarquitectura.com/index.php/File:Agbar_Secci%C3%B3n.jpg

Planta de la Torre Agbar a nivel del piso 29.



Fuente: <http://mpisd.wordpress.com/author/malgorzata-pater/page/2/>

Las vigas de acero se van colocando y orientando de manera que su claro sea el menor posible; siempre guardando una distancia entre sus ejes de 3 m y, admitiendo solo dos direcciones en la orientación de las vigas: las paralelas a los ejes principales de la elipse que forma el muro exterior.

Para la excavación y estructuración de la contención de la zona soterrada, al ubicarse en terreno con nivel freático a 10 m de profundidad, la cimentación se asentó a 7 m. Esta singularidad del terreno exigió por un lado la previsión de un mecanismo de bombeo de agua durante la ejecución, y por otro lado el acondicionamiento de la cimentación para equilibrar la sub-presión correspondiente. Estos aspectos condicionaron el diseño de estructuras de contención, proyectadas no solo bajo criterios de estabilidad y resistencia; sino también atendiendo a la construcción de un depósito suficientemente estanco a la entrada de agua del subsuelo.

La cimentación de esta zona del proyecto contó con una losa de sub-presión anclada al terreno mediante "módulos de pantalla", que se desempeñan en fricción negativa y que se ubicaron debajo de cada columna para equilibrar la presión ascendente que se genera; esta losa de 80 cm de espesor, se apoya sobre una capa de material permeable de 40 cm de espesor, lo que facilita el drenaje del agua hacia cuatro pozos de evacuación. La estructura la zona de estacionamiento está conformada por un entramado de columnas separadas entre sí a una distancia de aproximadamente 8 m, las que a su vez, sustentan losas de concreto armado con espesores de entre 30 y 40 cm.

La cimentación de la torre se proyectó con una secuencia continua de pilotes de concreto armado que siguen el recorrido de los elementos portantes verticales. Los pilotes se hincan a profundidades de entre 14 y 25 m, con secciones que oscilan entre los 65 y 80 cm, en función del lastre a soportar. Otro de los elementos que singulariza a este edificio es su iluminación nocturna ((Foto # 2)). La torre dispone de más de 4 mil dispositivos luminosos, que pueden funcionar de forma independiente utilizando tecnología LED; lo que posibilita la generación de imágenes luminosas en toda la superficie de su fachada. El sistema permite proyectar 16 millones de colores, gracias a una sofisticada conjunción hardware - software.

En general, el consumo energético de la torre también fue revolucionario y uno de los responsables del notorio título de "Edificio Verde" con el que fue bautizado este rascacielo catalán. En el interior del edificio, la temperatura se regula por un sistema VRV (Flujo de refrigeración variable, por sus siglas en inglés) que organiza cada planta en 27 zonas diferenciadas y que actúa de forma "inteligente" en cada uno de ellas; optimizando la cantidad de energía que se utiliza, de forma que, por ejemplo, no proporciona calor a despachos que están desocupados o zonas destinadas a almacenamiento.

Asimismo, también la iluminación es controlada mediante un sistema informático, que las regula automáticamente en función de si un determinado espacio está siendo ocupado o no. Además, parte de las casi 60,000 lamas que recubren la fachada exterior poseen placas fotovoltaicas que acumulan la energía solar que posteriormente es empleada para autoabastecer las necesidades de la torre. **C**

REFERENCIAS:

- Álvarez, K. A. y Ramis, M. J. "Torre Agbar, en Barcelona". *Revista de Obras Públicas*. Julio-Agosto 2003. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
- Solé, M. J. R., Brufau, N. R., Obiol, S. A. y Moya, F. Ll. "Proyecto y ejecución de la Torre Agbar en Barcelona". *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Valencia, 13-15 Septiembre, 2006.
- Wikipedia 2013, "Torre Agbar".