

TORRE AGBAR, EN BARCELONA

AGBAR TOWER, IN BARCELONA

ÁLVARO ÁLVAREZ KELLER. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. *Gerente de la UTE*
JOAQUÍN RAMIS MARCET. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. *Jefe de la Oficina Técnica de la Obra*
aak-dragados-catalu@DRAGADOS.com

RESUMEN: La torre Agbar de Barcelona es una obra muy singular desde el punto de vista arquitectónico, que va a marcar el nuevo perfil de la ciudad. Es un edificio con una geometría complicada que combina ovoides, elipsoides, troncos de cilindro, troncos de cono y cúpulas ovoidales con diversos elementos constructivos como lasas postesadas, forjados de chapa colaborante, muros curvos, muros inclinados y otros. Todo ello unido a un plazo de ejecución estricto, que ha obligado al empleo de métodos constructivos no usuales.

PALABRAS CLAVE: ENCOFRADO AUTOTREPANTE, EDIFICIO DE GRAN ALTURA, MURO HORMIGÓN ARMADO

ABSTRACT: The Agbar Tower in Barcelona is a unique structure from an architectural point of view and will serve as a new landmark in the city. The building has a complex geometrical form combining ovoids, ellipsoids, cylinders, frustums and oval-shaped domes with diverse construction elements such as post-stressed slabs, collaborating steel decks, curved and sloping walls among other elements.

The office block is being built within a tight schedule which has made it necessary to employ non-standard construction methods.

KEYWORDS: SELF-CLIMBING FORMWORK, HIGH-RISE BUILDING, REINFORCED CONCRETE WALLS

INTRODUCCIÓN

COMPOSICIÓN DE LA TORRE

Muro exterior de hormigón armado, con planta ovoidal de espesor 50,40 y 30 cm –según la altura–, con ventanas distribuidas aleatoriamente. Los radios que definen este ovoides son de 21,17 y 16,33 m.

A partir de la planta 17, y hasta la 26 en que termina este muro, va reduciendo su dimensión en planta.

Núcleo interior de hormigón armado de planta curva con 5 radios, que aloja ascensor dúplex, montacargas, escaleras y zonas de servicio. El diámetro mayor de este núcleo es de 16,30 m.. A partir de la planta 26 va reduciendo su dimensión en planta terminando con una cúpula de hormigón armado.

Bojo rasante, las plantas son de hormigón armado, con pilares.

Sobre rasante, hasta la planta 26, son de vigas metálicas y chapa colaborante. Estas vigas metálicas van soldadas a chapas empotradas en los muros, sin pilares intermedios y con una luz máxima de 15 m.

Desde la planta 26 en que acaba el muro exterior de hormigón, hasta la planta 32, las plantas son de hormigón postesado, en voladizo desde el núcleo interior. El voladizo máximo es de 10 m.

El cierre de esas plantas en voladizo se hace con una cúpula de estructura metálica y vidrio de 36 m. de altura.

Todo el muro exterior de la torre lleva un forro de lamina de vidrio.

CONCEPTO ARQUITECTÓNICO

Según expone Jean Nouvel, no se trata de una torre, ni de un rascacielos en el sentido americano del término: "es un volumen emergente, único en mitad de una ciudad más bien tranquila. Aunque no es una vertical esbelta y tensa como las agujas de las iglesias o los campanarios que generalmente puntúan las ciudades horizontales. No, es más bien una masa fluida que hubiera perforado el suelo como un géiser de presión permanente y dosificada."

La superficie del edificio evoca el agua lisa y continua pero también vibrante y transparente. La materia se lee en su

Se admite como autor de este artículo, que deberá ser remitido a la Redacción de la Revista, el 20 de octubre de 2003, el Dr. Álvaro Álvarez Keller, Jefe de la Oficina Técnica de la Obra, aak-dragados-catalu@DRAGADOS.com

profundidad, coloreada e incierta, luminosa y matizada. Esta arquitectura proviene de la tierra, pero no tiene el peso de la piedra; si bien podría ser un eco lejano de antiguas obsesiones formales catalanas traídas por los misterios del viento que sopla de Montserrat. Las incertidumbres de la materia y de la luz hacen vibrar el campanile de Agbar en el skyline de Barcelona.

Espejismo lejano tanto de día como de noche. Jalón preciso en la entrada de la nueva Diagonal desde la Plaça de les Glories. El objeto singular se convierte en el nuevo símbolo de la metrópolis internacional y de una de sus mejores embajadoras.

MURO EXTERIOR DE LA TORRE

Es junto al núcleo interior, el único elemento que integra la estructura vertical de la torre propiamente dicha. El muro exterior arranca en el cimiento y asciende hasta la planta 26, unos 110 m sobre la rasante de la calle. La pared presenta de entrada una particularidad determinante, el proceder del proyecto arquitectónico a la hora de diseñar las aberturas necesarios en cualquier paramento para satisfacer las necesidades de los espacios interiores. Lo que el diseño estipulaba es una retícula teórica, de módulo cercano a los 92,5 cm por 92,5 cm, que cubre toda la fachada, sujeto siempre a esta retícula se disponen las aberturas de un modo aparentemente aleatorio. Es este hecho el que obliga a que el perímetro exterior sea un gran muro de carga, ya que no permite el planteamiento de pórtico alguno, ni siquiera el tránsito vertical de una carga hasta la fundación. De tal modo que lo que se idea es un muro de hormigón armado "in situ" que contemple las acaecidas del diseño.

El grueso del elemento en cuestión es variable, de manera que contempla diferentes espesores para ciertos tramos, eso sí, dentro de cada tramo la anchura es constante. Así en toda la profundidad de los sótanos el grueso proyectado es de 50 cm. Una vez por encima de la planta baja se consideran tres tramos, cuyos límites vienen a coincidir con la ubicación de las plantas técnicas, que a su vez vienen a coincidir con la división de los primeros 110 metros de la torre en tercios. En el primer tercio el espesor propuesto es de 50 cm, en el segundo de 40 cm, mientras que en el último tercio se trabaja con una anchura de 30 cm. El intradós del muro asciende de manera continua de modo que los cambios de espesor explicitados siempre se producen por la cara exterior del paramento.

Cabe decir que cuando el muro se sitúa en la cota +76,50 m de proyecto se inclina sobre sí mismo, formando una curva poligonal hasta la planta 26. Cada tramo recto de dicha poligonal va de forjado a forjado.

Al optar por dos cilindros elípticos de hormigón armado para sustentar forjados, muro exterior y núcleo interior, de manera que uno contiene a otro mucho menor en su interior, resulta evidente que es el exterior el encargado de la estabiliza-

ción del edificio frente a la actuación de las acciones transversales por su mucha mayor inercia respecto al interior. Asimismo, cabe significar que la esbeltez mínima de la torre es calificable como moderada, y que la incidencia de las cargas horizontales no tiene una influencia importante en el comportamiento de los diferentes elementos.

En todo momento se ha tenido en cuenta las cargas transferidas por la piel exterior de vidrio al muro de hormigón.

NÚCLEO INTERIOR

Al igual que el muro exterior nace en los cimientos pero este elemento estructural alcanza los 132 m de altura sobre rasante cerrándose sobre sí mismo para formar una pequeña cúpula de hormigón ligeramente apuntada.

En planta, el núcleo toma una forma parecida a un ovoide de dimensiones principales 16,30 m por 15,90 m, orientadas de tal modo que la dimensión mayor del ovoide es coincidente en dirección y posición con la dimensión mayor de la elipse que da forma al muro exterior; estando el centro del ovoide desplazado hacia el núcleo de ascensores de la torre, de manera que no se produce la coincidencia de centros.

El núcleo está formado por un entramado de paredes de hormigón armado "in situ" en el que la pared perimetral liga las demás confiriendo al conjunto la mencionada forma de ovoide. Dicho entramado de paredes, por el hecho de no adquirir responsabilidad en la estabilización horizontal del edificio, y por el número y proximidad entre ellas, se proyecta con un grueso mínimo que oscila entre los 25 y 30 cm.

PLANTAS DE LA TORRE

La parte de forjado contenida en el núcleo interior la forma una losa de hormigón armado de 20 cm de canto, que se apoya en el denso entramado de muros resistentes que da forma a dicho núcleo.

La parte de forjado que va del núcleo al muro exterior se cubre con un forjado mixto de jácenas de acero entrelazadas mediante chapa grecada colaborante de 6 cm de altura complementada con hormigón "in situ" hasta que el conjunto chapahormigón alcanza una altura de 11 cm. Las vigas de acero se van colocando y orientando de manera que su luz sea la menor posible, guardando una distancia entre sus ejes de 3 m, y por otra parte sólo se admiten dos direcciones en la orientación de las vigas, las paralelas a los ejes principales de la elipse que forma el muro exterior. De esta manera en determinadas zonas unas vigas han de descansar sobre otras, produciéndose un número de brocheos no desdoblable.

La no coincidencia de los centros de los cilindros resistentes, provoca una solicitud heterogénea de los nervios de acero, de manera que una situación estructural conduce por sí sola a la aparición de una jerarquía de vigas, acción que se ve

acentuada en algunos casos por le hecho de que unas vigas descansen sobre otras.

Se han identificado grupos de vigas, que se concretan en función de las exigencias mecánicas, la servidumbre de paso de instalaciones y la altura máxima posible para ese elemento, en función de los requerimientos arquitectónicos. Básicamente, hay dos tipos de nervios: vigas armadas, alveoladas para el paso de instalaciones y perfiles laminados de canto suficientemente reducido para permitir el paso de instalaciones por debajo.

PLANTAS DE DIRECCIÓN

Las plantas de dirección ocupan las seis últimas plantas útiles de la torre pero son las cinco últimas las que definen una tipología estructural ajena a la del resto de plantas. Dichas plantas presentan la originalidad de que no alcanzan nunca el perímetro de la construcción, siendo así que únicamente pueden sustentarse en el núcleo interior de la torre; por tanto, pasan a formar unos voladizos de longitud idéntica a la que se aleja el borde del piso del citado núcleo interior. Esta concepción implica vuelos de hasta 10 m por lo que se ha optado por una losa de canto variable entre 25cm y 50cm prensada, con el objetivo de introducir en la estructura una deformación y un estado tensional contrarios a los que se producirán cuando ésta entre en servicio, haciendo admisibles los corrimientos y tensiones resultantes.

CÚPULA

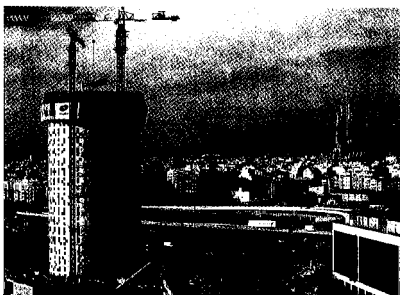
Se trata de una estructura metálica formada por un conjunto de 26 meridianos y 19 paralelos formando una retícula que sustenta los marcos de la carpintería que recoge al doble acristalamiento que cierra los huecos.

El hecho comentado de la relación directa entre estructura y carpintería es determinante en la conformación de la estructura. La periferia escogida tiene que ser capaz de albergar la mencionada carpintería, es por ello que se ha optado por dos tipos de nervio en función de si se trata de un meridiano o de un paralelo. Cabe destacar que sobre los dos paralelos más altos se proyecta una estructura secundaria con el fin de proporcionar una base horizontal al conjunto de antenas que se ubica en la parte superior de la cúpula.

Al igual que sucede en el diseño y cálculo del muro exterior, en todo momento se ha tenido en cuenta las cargas transferidas por la piel exterior de vidrio.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ESPECIALES

La ejecución de la estructura sobre rasante del edificio de la Torre Agbar se caracteriza por un marcado condicionante temporal. Dado el carácter lineal en altura del edificio, cual-

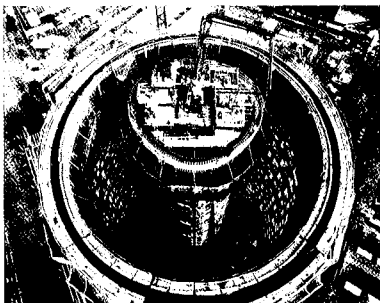


quier planteamiento de entrada de oficinas con un ritmo determinado, quincenal, decenal o semanal, obliga a la creación del recurso espacio a ese mismo ritmo. De este modo, la necesidad de crecimiento de la estructura cuya evolución planta a planta va conformando el espacio de incorporación de los edificios de albañilería, instalaciones y acabados viene obligada por los imperativos de plazo total y de suma de edificios a incorporar.

El mencionado crecimiento de la estructura, culminando en plantas terminadas y disponibles para edificios posteriores, pasa por la ejecución de todos y cada uno de los elementos que la integran, y que pueden resumirse en:

- muro exterior de hormigón
- muros de ascensores
- muros de hormigón del núcleo central
- estructura metálica
- chapa colaborante
- hormigonado de forjado colaborante
- ignifugado de la estructura metálica y parte inferior de los forjados
- hormigones de losas del núcleo.

El ritmo de avance será pues, como cota superior, el del elemento más lento en ejecución de los anteriores, siendo así que, además, los medios de elevación o empujar son limitados por el número de grúas que resulta posible disponer para la torre, las dos existentes junto al fuste. Son precisas las grúas en un planteamiento tradicional de la Edificación, para el movimiento de encofrados o elevación de las consolas de trepado, para la elevación de ferralla y otros incorporados a la obra [tracetas metálicas, vigas armadas y chapas colaborantes] y para el vertido de hormigón.



**ESTUDIO DE TIEMPOS Y MÉTODOS
DIAGRAMA DE ACTIVIDADES SIMULTÁNEAS (D.A.S.)**

La programación inicial estableció un decalaje de entrada de 7 días laborables, reduciendo el lapso objeto de comentario a $7 \times 25 = 175$ días laborables. El ciclo de 7 días es alcanzable con métodos tradicionales de encofrado, pero muy sensible a cualquier incidencia, tanto climatológica como de cualquier otro tipo.

Por otra parte, toda actividad que dependa de la elevación de materiales mediante grúa se ve afectada por el efecto del crecimiento en altura del edificio. De esta forma, la elevación de ferralla, la elevación de hormigón mediante cubilotes, la elevación de moldes negativos de ventana, así como el izado de vigas de estructura metálica y de chapa colaborante para forjados consumen más tiempo de grúas a medida que asciende el frente de trabajos. De forma similar, las actividades que precisan grúa pero no requieren elevación también sufren retraso, al ser precedentes o subsiguientes a actividades que sí lo requieren, lo cual se traduce en un mayor riesgo de retraso en los tiempos de movimiento de encofrados.

Programando la entrada cada 5 días laborables, se reduce evidentemente el decalaje entre la entrada de una actividad en la planta 2 y en la planta 26, pasa a ser de 125 días laborables. Requisito para el cumplimiento de esta hipótesis de entrada es el que las plantas crezcan cada 5 días laborables en estructura. Con objeto de intentar reducir el mencionado decalaje y también reducir al mínimo las fuentes de desviación en plazos, se realizó un estudio integral de las actividades que intervienen en el crecimiento de la estructura sobre rasante, de forma que quedara establecido un ciclo cuya duración no se preestablecía, salvo

con el objetivo de que fuera menor o igual a 5 días laborables.

Objeto del estudio era, a su vez, determinar los recursos (tipo de sistemas constructivos y dotaciones de equipos humanos especializados) para el cumplimiento del ciclo establecido, así como un guión temporal a lo largo de toda la duración del ciclo para cada recurso, contemplando simultáneamente todas las actividades que intervienen en el crecimiento de la estructura.

Este análisis se realiza mediante Diagramas de Actividades Simultáneas, con los que se programan todas las tareas en que se descompone la actividad de modo simultáneo, y teniendo en cuenta los recursos disponibles, encajándolos de modo que el empleo de recursos y tiempo sea mínimo.

SISTEMA DE ENCOFRADO AUTO-TREPANTE

El encofrado adoptado para la ejecución de los muros de estructura sobre rasante consiste en un conjunto de encofrados que es elevado mediante un sistema hidráulico incorporado al propio sistema de encofrado, de forma que una vez implantado permite elevarlo a la altura de una tongada típica (3,70 m.) sin requerimientos de grúas y en el plazo de pocas horas.

Es la primera ocasión en la que este sistema es empleado en España.

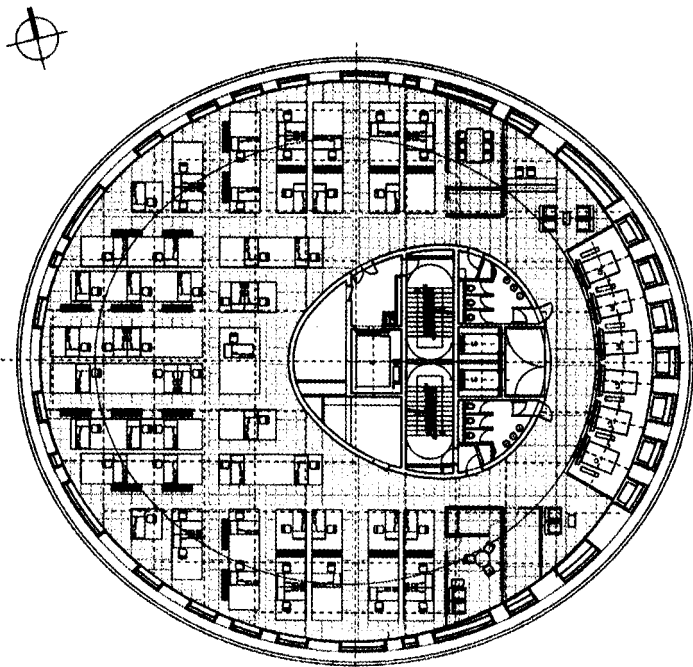
Se diferencia del deslizante en que éste requeriría un avance continuado de los encofrados, sin detenciones, debiendo ser ferrallado en continuo, lo cual, con la geometría del edificio, sobre todo con la distribución de huecos de ventana y refuerzos de crucetas metálicas no resulta viable.

La mayor ventaja respecto del sistema de trepa habitual consiste en eliminar las necesidades de grúa para esta operación y reducir drásticamente las desviaciones en el tiempo de la operación de trepado. No sólo no requiere grúa y la operación es mucho más rápida, sino que los tiempos de esta operación resultan tener desviaciones mucho menores.

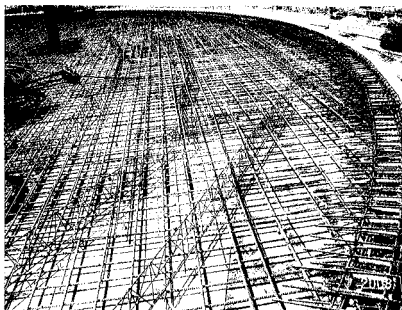
Para el caso del muro exterior, el sistema de encofrado consiste en un doble juego de consolas, para ambas caras del muro. Permite posicionar una cara del encofrado y dejar una plataforma de trabajo por la otra.

El sistema de autotrepa ha sido diseñado para permitir crecimiento inclinado, y hasta la planta 25 las alturas de tongada han sido dimensionadas para poder hormigonar la altura de una planta en cada tongada, a fin de no requerir dos tongadas en cada planta según el planteamiento inicial del proyecto.

El encofrado de la fachada se ha diseñado con encofrado PERI VARIO formado por tablero contrachapado fenólico, vigas de celosía de madera GT 24 y correas metá-



PLANTA TIPO DE OFICINAS - DISTRIBUCION LIBRE



En este caso el encofrado no presenta variación alguna ya que la sección a hormigonar es constante.

VENTAJAS DE LA AUTOTREPA

1. Se pueden formar grandes módulos de encofrado debido a que como mínimo se tienen 200 kN de capacidad de trepa de un elemento, pudiendo tener 400 kN, 600 kN y 800 kN con elementos standard. De este modo se necesitan menos uniones entre módulos lo que implica un mayor rendimiento en el manejo del encofrado propiamente dicho.
2. Se iza independientemente de las condiciones meteorológicas ya que con velocidades de viento de hasta 60 km/h el equipo puede trepar.
3. Las operaciones de trepado, encofrado y desencofrado son totalmente independientes de la grúa, permitiendo reducir el número de éstas o bien facilita su utilización en otras tareas, con lo que se pueden simultanear tareas.
4. La trepa de los encofrados se realiza con total seguridad.
5. Los acabados del hormigón son tan cuidadosos como se quiera a diferencia de los encofrados deslizantes.

licas articuladas mediante unos husillos para permitir adaptarse a la geometría variable.

Tanto el perímetro exterior como el interior se han dividido en 12 módulos cada uno de trepa para optimizar los equipos de trepado, minimizar las operaciones de manejo de modo que el rendimiento sea el más adecuado.

Los módulos se han dividido en dos tipos: tipo B (radios grandes) y tipo S (radios pequeños), y en cada uno de ellos se ha hecho un módulo tipo para interior y otro para exterior con lo que se han obtenido 4 tipos de módulos distintos. De cada uno de ellos se han dispuesto 6 unidades con lo cual se han generado 24 módulos de trepa (12 para el exterior y 12 para el interior).

La idea es que el sector angular abarcado por cada módulo permanezca constante de abajo a arriba de la obra.

A su vez cada módulo o unidad de trepado se ha dividido en 4 submódulos, articulados entre sí para adaptarse a la geometría variable de la obra. Generándose 16 tipos de submódulos (si bien 2 a 2 son simétricos).

Dentro de estos submódulos los 2 centrales de cada módulo permanecen constantes durante toda la obra, siendo posible el giro relativo entre ellos y los módulos extremos recortan para adaptarse a los diferentes desarrollos, también se permite el giro entre estos submódulos.

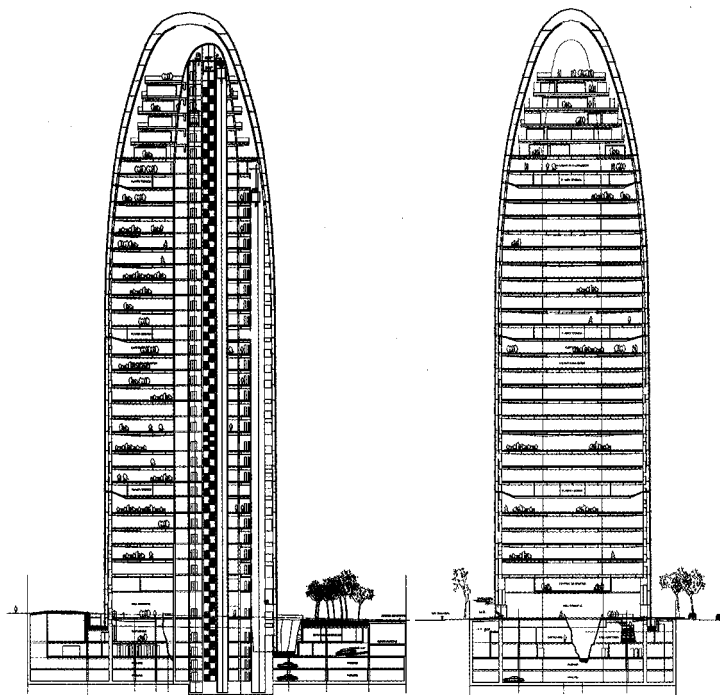
Para el núcleo el encofrado diseñado es el mismo tipo que el de la fachada, con correas conformadas para adaptarse a la geometría de la obra y con los elementos de desencofrado necesarios para poder ejecutar las trepas sin necesidad de desmontar ningún elemento. En este encofrado destaca la particularidad de que el encofrado interior va colgado de un entramado dispuesto sobre las plataformas de trepa.

SISTEMA DE FERRALLADO INDUSTRIALIZADO

El sistema de ferrallado ha sido cuestionado a fin de reducir sus tiempos de ocupación de espacio en las consolas de trepado. La idea ha sido maximizar el conjunto que debía incorporarse al tajo, con paneles lo más grande posibles, dentro de las limitaciones de los medios que resulta factible emplear en toda altura, y lo más completos posibles. Se deseaba incorporar la geometría de huecos de ventana, los moldes de encofrado de negativos, las crucetas, y todo aquel elementoizable con suficiente garantía de cumplimiento de las precisiones requeridas.

Conocidos los tiempos de ejecución del armado de la ferralla con métodos convencionales en este muro con un gran número de huecos de ventana y con elementos metólic de refuerzo «crucetas», el DAS contempló, en primera instancia la necesidad de industrializar al menos la ferralla, así como la conveniencia de alcanzar el máximo grado posible de industrialización.

En el muro exterior la industrialización resultaba posible preformando parrillas de altura de 92,5 cm curvadas con patillas, para la armadura horizontal, en longitudes típicas de 1,2,3 y 4 módulos. En base a estos elementos, a las jaulas de proyecto y la prefabricación de jácenas no se alcanzaban con garantía suficientes tiempos satisfactorios; el izado y colocación de tantos elementos y de negativos de ventana y de crucetas, consumía demasiado tiempo de grúa y demasiada ocupación de consolas.





Para la ejecución de la ferralla industrializada se busca conformar paneles de una altura de 4 módulos en altura – 3,70 m – y preferentemente de 10 ó 12 módulos de longitud (entre 9 y 11 m) lo que llevaría a 10 ó 12 paneles por planta. Dada la existencia de 2 radios para el eje del muro en cada planta, existen paneles en cada planta de dos radios, y existen paneles con tramos de cada uno de los radios, R1 y R2.

Las crucetas suponen un elemento a considerar también para la división de paneles, y por último, el panel ha de ser izable con estabilidad geométrica, sin posibilidad de caída de elementos y debe poder ser posicionado y ubicado en continuidad con los niveles de armaduras de esperas generados al uso. Todo ello conduce a una división particularizada de los paneles atendiendo a los criterios antes expuestos y acaba suponiendo del orden de 15 a 18 paneles por planta para el muro exterior, no existiendo criterio alguno de repetición. Como de otra forma no puede ser con el ritmo de ventanas y crucetas que presenta. Por otra parte, los paneles se izan soldados, y las uniones entre ellos son por solape y por soldadura.

Los moldes de ventana deben ser izados amarrados al panel. Dado que los tiempos de grúa no permiten su consumo en operaciones como bajada de moldes recuperados, finalmente se emplea un encofrado de madera para cada hueco de ventana no resuelto por las crucetas, encofrado que se deja como perdido, y que se usa en el hormigonado con un conjunto metálico de refuerzos, conjunto que es recuperado desde la plataforma inferior de la trepa, con lo que no se consumen tiempos en retornos a rasante de elementos para encofrados de negativos.

Los muros del núcleo interior se caracterizan por el replanteo curvo de su eje, con hasta cinco radios diversos, de acusada curvatura en ciertos puntos.

La preindustrialización pasa por dotar de zunchos curvos a estos muros, y efectuar un grupaje coherente con los diversos radios. A su vez el grupaje en paneles contempla la posición de los entronques con los muros rectos interiores. El premontaje se efectúa en costillares y/o moldes de encofrado simulando los diferentes radios, consiguiendo paneles con la geometría preformada.

INNOVADOR PROCESO CONSTRUCTIVO PERSONALIZADO. TORRE AGBAR DE BARCELONA.



FERROBERICA

A medida que avanzan los conocimientos sobre la resistencia de materiales y, gracias al cálculo por elementos finitos realizados por programas cada vez más potentes, las estructuras que se diseñan hoy en día, son cada vez más complejas y de difícil ejecución.

Este es el caso de la Torre Agbar de Barcelona. El proyecto contempla dos torres cilíndricas no concéntricas de 142 m de altura. La exterior posee más de 4400 huecos de ventanas colocadas para que de una sensación aleatoria. Pero su posición está calculada al milímetro.

Estas son las características que llevaron a realizar un proyecto específico del armado. Con este fin Ferroberica, S.L. y su Departamento de Ingeniería han mantenido una estrecha colaboración con la empresa constructora de la estructura Grupo Dragados.

Tras un estudio exhaustivo del proyecto Ferroberica, S.L. diseñó un proceso constructivo especializado para este tipo de obras de excelencia. Este método en la ejecución y montaje de la armadura es el llamado método FERROBERICA INDUSTRIALIZACIÓN DE ARMADURAS (FINA). Este sistema innovador permite la ejecución de armaduras industriales, racionalizando su ejecución, fuera de obra y de hormigonado, a cota cero. Posteriormente se monta la ayuda de una grúa, se posiciona la jaula armada en su lugar definitivo. Aporta una solución industrializada a una concepción tradicional de la armadura.

El método FINA permite seccionar el armado en tramos transportables por grúa, dichas secciones se ejecutan a pie de obra con todos los elementos que contempla el proyecto y poseen las esperas de las barras verticales necesarias para el proceso de puesta en obra se disponen las barras de solape de la armadura horizontal con lo que se monta así el armado definitivo de la estructura. El cilindro exterior de la Torre Agbar contiene miles de huecos de ventanas, por consiguiente, todos los módulos son ensamblados entre sí. El ensamblado de los diferentes módulos no ha proporcionado gran dificultad gracias a la alta calidad que supone la puesta en obra de este método industrializado de producción y montaje de la armadura.



El método FINA proporciona una mayor calidad y una seguridad creciente en la ejecución de la armadura al ser el paso del armado tradicional al método próximo de la industrialización de armaduras. Analizándose satisfactoriamente en proyectos de altura fundamentales como el que comporta la realización de la Torre Agbar hasta estructuras de carácter industrial. Proporciona conjuntamente una reducción de costes directos e indirectos, disminuyendo la mano de obra especializada, así como una reducción cuantitativa y cualitativa de riesgos de seguridad colectiva, y sobre todo, un ahorro en tiempos de ejecución. Por lo tanto, el método FINA se convierte en el procedimiento constructivo universal más apropiado y utilizado en proyectos de infraestructuras que van desde grandes obras civiles hasta la edificación común.

Este mismo método lo hemos podido aplicar, con total garantía, en obras de gran envergadura y calidad como tanques, depósitos de gas y otros materiales peligrosos, industria alimentaria, medio ambiente y edificación en general. Puesto que representa un sistema de relativa fácil ejecución en obras de gran dificultad de desarrollo. Simplificando la ejecución de cualquier tipo de armado.

Ferroberica, S.L. es pionera dentro de la industria del preformado de barras corrugadas, en la introducción de métodos constructivos e industrialización de armaduras de nueva generación. Por lo que se le adjudica en numerosas obras la parte del proyecto referente al diseño constructivo de la armadura y su ejecución.

Para abastecer al ciclo de muros, es preciso ferrallar y acopiar suficientes paneles, lo cual obliga a disponer un mínimo de dos moldes por cada uno de los radios, por lo que, para el ferrallado industrializado y con los condicionantes de plazo existentes, para el muro exterior es preciso un juego de al menos dos parejas de moldes.

A fin de mejorar en la garantía del cumplimiento de plazos y de ajuste a la geometría, las jácenas se confeccionan sobre moldes específicos, de un módulo de fondo.

De modo que para los muros exteriores se dispone de dos juegos de parejas de moldes completos y de dos juegos de moldes de jácenas.

PLANTAS POSTESADAS

La ejecución de estas plantas según Proyecto obligaba a reapuntalar hasta 6 plantas por debajo de la planta a hormigonar, dado que al tratarse de losas macizas de hormigón con canto entre 50 y 25 cm, su peso durante el hormigonado superaba la sobrecarga admisible en la losa inferior.

Para evitar este reapuntalamiento, se crean unas grandes vigas de celosía con las vigas de las plantas 25 y 26, de las cuales nacen 5 pilares metálicos provisionales que crean unos apoyos intermedios en las losas postesadas. Así, durante la fase de construcción, estas losas funcionan empotradas en el muro del núcleo y apoyadas en estos pilares, en lugar de en voladizo.

Estos pilares son posantes en las losas, con unas cartelas para apoyo de las mismas, de modo que permiten el movimiento vertical de la losa durante la fase de tesado.

SISTEMA DE CONTROL TOPOGRÁFICO

Otro de los aspectos no usuales de esta torre es el sistema de topografía empleado.

Al ser un edificio de forma ovoidal con reducción del perímetro, no se puede trabajar con sistemas de plomada sea tradicional o láser.

Por la precisión requerida de 2,5 mm en cualquier punto del hormigón, no era posible trabajar estacionando el aparato a nivel de calle:

- Si se situaba próximo a la torre, por la altura de ésta obligaría a trabajar con ángulos verticales grandes; así un pequeño error en este ángulo produciría un error en Z inaceptable.
- Si se situaba alejado de la torre, para trabajar con ángulos verticales menores, un error pequeño en el ángulo horizontal produciría un error en X inaceptable.

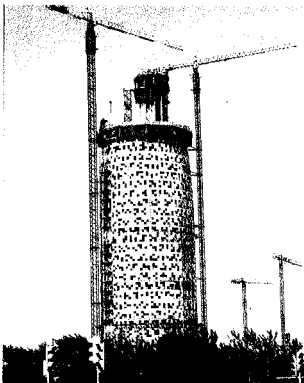
La solución ha sido crear una plataforma de trabajo sobre el encofrado del núcleo interior y colocar 6 prismas topográficos en edificios próximos. Colocando una estación total sobre

dicha plataforma se procedía a visar tres prismas, cuya posición estaba perfectamente determinada. Por medio de una trisección inversa se obtenía la posición de la estación total, con una precisión de 2 mm, realizándose entonces todos los replanteos de muros y ventanas con esta estación total.

BOMBEO DE HORMIGÓN

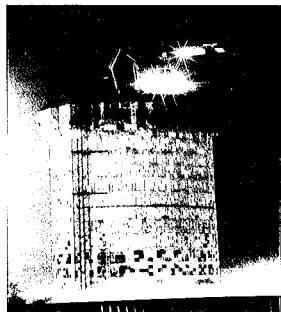
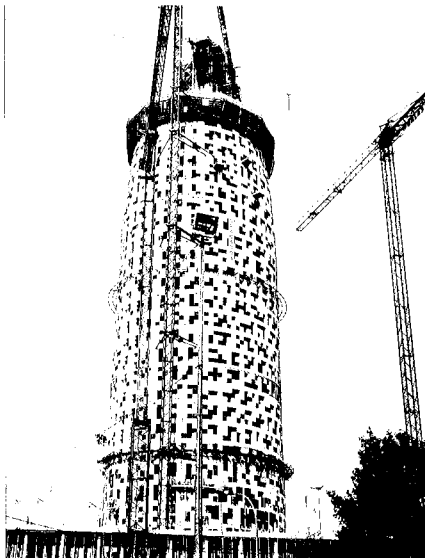
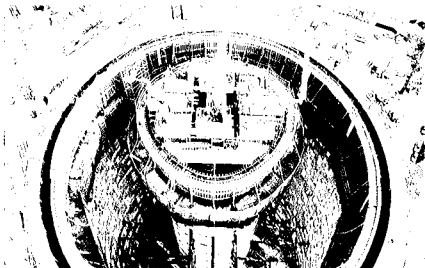
El hormigonado de la torre Agbar se ha realizado con un equipo de hormigonado del que forman parte, entre otros, una bomba estacionaria de hormigón BSA 2110H-D, una tubería de aproximadamente 190 m. de longitud, capaz de soportar presiones elevadas con válvula de bloqueo y una pluma distribuidora estacionaria. Teniendo en cuenta una presión hidráulica máxima de 350 bar, Putzmeister ha diseñado la BSA 2110 H-D para presiones de salida de hasta 115 bar (admisión por el lado del vástago), o bien de 220 bar cuando se trabaja del lado del pistón.

De la incorporación del hormigón a los encofrados laterales del muro exterior y del núcleo se ocupa una pluma distribuidora Putzmeister MX 28 Z. La pluma está montada sobre una columna de dos elementos (longitud de 6 y 10 m) y se asienta sobre una plataforma de encofrado especial que se eleva hidráulicamente junto con la pluma distribuidora, con lo que va ascendiendo suavemente de piso en piso sin sacudidas. Como la pluma ocupa una posición excéntrica respecto a la planta del edificio, el hormigonado continuo de los encofrados laterales interiores y exteriores requiere que los brazos



Encofrado Autotrepante PERI

Nuestra Tecnología para obras en altura



Torre Agbar, Barcelona
Construcción: Dragados O. y P.
Propiedad: Taysotana

PERI S.A. Sociedad Unipersonal
Encofrados y andamios
Caminos de Móstoles, km. 0.500
28110 Algete - Madrid
Tel: 916 204 800 Fax: 916 204 801
E-mail: info@peri.es
www.peri.es



de la misma se vayan desplazando permanentemente (la articulación en Z del MX facilita la modificación de los ángulos de la pluma).

COORDINACIÓN DE INSTALACIONES

La ejecución de instalaciones de un Proyecto en el que intervienen en su ejecución tres empresas para el caso de instalaciones y una cuarta para la estructura y elementos de arquitectura obliga a una coordinación de instalaciones.

Se ha efectuado un análisis de las relaciones y la compatibilidad entre las distintas actividades. Esto requiere la determinación de un ritmo factible para todos los agentes que tenga en cuenta las necesidades de la estructura y nos proporcionen unos resultados de planta que conduzca a cumplir las fechas de finalización estimadas reduciendo en lo posible retrasos indeseados. Asimismo, es preciso un estudio del programa con el fin de compatibilizar oficios, recursos, logística y aprovisionamientos.

Además es preciso disponer los medios de elevación para personas y materiales que permitan el movimiento de los mismos con suficiente velocidad.

Así, se han implantado un montacargas doble Alimak SCANDO 20/30 TD con capacidad de 2.000 kg cada uno y otro simple Alimak CH 10/24 con capacidad de 1.000 kg, todos ellos válidos para transporte de personas y materiales, y con una velocidad de 0,6 m/s.

Además una grúa COMANSA 21 LC400 con capacidad de carga máxima de 18.000 kg y 172 m bajo gancho, y otra grúa COMANSA LC1060, ambas arriistradas al fuste de la torre. Para el movimiento de materiales en la zona de acopios se ha instalado una grúa COMANSA LC5013.

CONCLUSIÓN

Se trata sin duda de una obra muy singular desde el punto de vista arquitectónico, que va a marcar el nuevo perfil de Barcelona.

En la obra se tiene una combinación de todos los elementos constructivos:

- Forjados de chapa colaborante con vigas metálicas
- Losas de hormigón armado con vigas de cuelgue
- Losas de hormigón postesado
- Losas de hormigón armado
- Cúpulas de hormigón armado
- Cúpula de estructura metálica
- Muros de hormigón armado curvos y rectos
- Muros de hormigón armado curvos inclinados

Todos estos elementos combinados con una geometría extraordinariamente complicada, que hace que, por ejemplo en la cúpula todos los tramos de paralelos y meridiano sean distintos (al arrancar de un ovoide), o que la distribución de ventanos sea distinta en todos las plantas.

Toda ello para ser ejecutado en un plazo que ha obligado necesariamente a emplear métodos y medios como el encofrado autotrepante o la ferralla para muros curvos totalmente industrializada, que no son en absoluto habituales.

DATOS DE LA OBRA

51.480 m³ en 32 plantas + 3 plantas técnicas
15.180 m³ bajo rasante en 4 sótanos
145 m. de altura sobre rasante
4.400 ventanos

EQUIPO TÉCNICO

Promotor y Propietario:	Layetana S.L.
Proyecto de Arquitectura:	Architectures Jean Nouvel S.A.: Director: Jean Nouvel 8720 Arquitectura S.L. : Fermín Vázquez
Proyecto de instalaciones:	Ibering S.A. - Gepro S.A.
Proyecto de Estructura:	Robert Brufau i Associats, S.A. Obial, Moya y Asociados, S.L. Arnould de Bussierre & Asociados
Consultores de Fachada:	Dragados Obras y Proyectos, S.A.
Ejecución de Estructura e Interiores:	Axima
Ejecución de Instalaciones Mecánicas:	Ente
Ejecución de Instalaciones Eléctricas:	Ente
Fachada:	Pernasteelisa