

El proyecto ejecutivo y la construcción de la torre de Collserola

JULIO MARTINEZ CALZON (*)

MANUEL JULIA VILARDELL (**)

RESUMEN. Sobre el proyecto redactado por el arquitecto británico Norman Foster, ganador del concurso internacional de diseños, los autores de este artículo desarrollaron el proyecto ejecutivo que, sin variar el contenido de la solución base, lo armonizó con las exigencias inevitables para su construcción, incorporando los conceptos y elementos estructurales precisos para ello.

La torre posee una estructura híbrida formada por la combinación de tres importantes subsistemas, consistentes en:

- Un fuste cilíndrico de hormigón, de gran esbeltez, situado en el eje central de la obra.
- Una potente estructura metálica y mixta, que soporta los sistemas funcionales y se une con el fuste a la mitad de la altura de éste.
- Un grupo de tres familias de cables pretensados que confieren al conjunto la estabilidad y rigidez requeridas.

La estructura se completa con un mástil superior, de acero, que corona la torre actuando en voladizo.

Las especialidades características del edificio se completaron con un innovador proceso constructivo, del que hay que destacar la construcción previa del fuste de hormigón, cilindro vertical de 205 m de altura y 4,5 m de diámetro, desde cuyo extremo se procedió a la elevación completa de la estructura metálica construida a nivel del suelo, con un peso total de 3.000 toneladas, hasta una altura de 84 m en donde se verificó la unión al fuste. De manera similar, el mástil superior de acero fue elevado por el interior del fuste de hormigón y colocado en su posición final mediante un proceso de doble telescopado.

CARRYING OUT OF THE CONSTRUCTION PROJECT FOR THE TORRE DE COLLSEROLA

ABSTRACT. *The authors of this article were responsible for carrying out the project prepared by the British architect Norman Foster, who won the international competition for designing the Torre de Collserola. The building was done within the framework of the construction requirements, and included all the necessary concepts and structural elements.*

The tower is of a hybrid nature, being made up of three important sub-systems, which consist of the following:

- *An extremely thin cylindrical concrete shaft, forming the centrepart of the work.*
- *A strong metallic and mixed structure, that supports the functional systems and joins the shaft halfway up.*
- *Three families of prestressed cables to provide the structure with the necessary stability and rigidity.*

The structure is completed with an upper mast, made of steel which crowns the tower and projects from it.

The special characteristics of the building are completed with a novel construction process, which involves the prefabrication of the concrete shaft, a vertical cylinder 205 m high, with a maximum diameter of 4.5 m from the end of which the 3,000 ton metallic structure, constructed at ground level, is hoisted to a height of 84 m, where it is joined to the shaft. By means of a similar procedure, the steel mast was reised inside the concrete shaft, and put in place using a double telescoping process.

(*) Doctor Ingeniero de Caminos, Profesor Titular Estructuras Metálica E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Madrid.

(**) Doctor Ingeniero de Caminos (Cubiertas y MZOV), Profesor Titular Cálculo de Estructuras E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Madrid.

1. ANTECEDENTES

La recuperación económica que se inició al final del primer tercio de la década de los ochenta propició el incremento de la demanda de medio de transmisión audiovisual, lo que en Barcelona dio lugar a la solicitud de

construcción de numerosos puntos de emisión en la parte alta de la sierra que la separa de la comarca del Vallés, zona de ubicación natural de tales medios y que ya está afectada por la presencia de un gran número de antenas.

La Corporación Metropolitana de Barcelona adoptó, con buen sentido, el criterio de autorizar solamente la construcción de una torre única, que permitiera albergar en ella todo el bosque actual de antenas que afean el paisaje, y las que en el futuro pudieran necesitarse, sobre todo después de la denominación de Barcelona como sede de los Juegos Olímpicos de 1992. El lugar que debería ocupar el edificio era una de las cumbres próximas al Tibidabo, en la sierra de Collserola, que da nombre a la torre.

En el año 1987 se fundó la sociedad Torre Collserola, S. A. por iniciativa conjunta de Telefónica, Retevisión, el Ayuntamiento y la Corporación Metropolitana. En noviembre del mismo año se convocó un concurso internacional de ideas, que fue ganado por el arquitecto británico Norman Foster.

El contenido de este primer diseño fue desarrollado durante los meses siguientes por el propio Foster, que recabó la asistencia de la firma de ingeniería Ove Arup & Partners, para el análisis de los sistemas estructurales que componen el edificio.

El edificio descrito por el proyecto base representa, en todos los sentidos, una innovación en el campo de las construcciones de altura y ofrece una visión actualizada del empleo de las posibilidades tipológicas, y de materiales novedosos de la construcción actual. Se trata de un bello ejemplo de obra inteligente de uso público, que abre nuevas vías de solución a nuevos problemas de nuestro tiempo, con total alejamiento de formas convencionales repetidamente utilizadas para satisfacer las necesidades que este caso plantea.

El 7 de julio de 1989 se convocó el concurso para la realización de la torre, una de cuyas exigencias era la redacción del proyecto de construcción, reto tecnológico a las empresas constructoras, equiparable por su singularidad a la del concepto estructural concebido por Norman Foster, encuadrado en la línea de soluciones denominada «High Tech», es decir, de alta tecnología estructural, aplicada con un sentido formalizador a los edificios, para alcanzar y expresar su auténtica esencia.

CUBIERTAS Y MZOV resultó ganadora del concurso gracias a su Proyecto Ejecutivo que, sin variar el contenido de la solución base, la armoniza con las exigencias ineludibles a su construcción, incorporando a ella nuevos conceptos y elementos estructurales para establecer una relación coherente entre el resultado final y los medios precisos para llegar a él, de tal modo que la creatividad de la solución arquitectónica tenga el contrapunto de un espectacular proceso constructivo.

Este Proyecto Ejecutivo incorpora, además de los cambios introducidos para la construcción, los análisis y comprobaciones necesarios para garantizar su seguridad, tanto en las etapas intermedias por las que debe

atravesar la estructura por su carácter altamente evolutivo, como en la situación de servicio definitivo.

La realización del proyecto fue básicamente llevada a cabo por los autores del proyecto; en la parte de hormigón y tirantes, por Manuel Julia, y en la correspondiente a la estructura metálica, su elevación y telescopado, por Julio Martínez Calzón.

2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

Con una altura total de 288 m la torre emplea, por vez primera en la realización de este tipo de edificios, una tipología estructural en la que el sistema portante está arriostrado al terreno mediante cables, en la forma bien conocida empleada para las antenas de emisión (Fig. 1)

La estructura resistente del edificio está formada por cinco subsistemas estructurales, bien diferenciados:

1. Un núcleo interior al conjunto constituido por un justo de hormigón de 205,5 m de altura, de sección anular, con un diámetro del hueco inferior constante, igual a 3,00 m y con paredes de espesor de 0,75 m hasta los 162,5 m de altura, donde se reduce a 0,50 m en un tramo de 18 m para finalmente alcanzar la coronación con un espesor de 0,30 m.
2. Una gran estructura metálica mixta, de planta anular en forma de triángulo equilátero de lados curvilineos, situada a gran altura alrededor del fuste de hormigón, en donde se sitúan las unidades funcionales de la torre.
3. Un conjunto de tres familias de tirantes metálicos pretensados, de gran potencia, que fijan al terreno el conjunto de los dos sistemas antedichos. Cada familia de tirantes se compone a su vez de un conjunto de tres elementos, dos en dirección hacia el exterior del edificio y uno hacia el interior. La fijación de los tirantes al terreno se realiza por anclaje a un macizo de hormigón semienterrado, en el caso de los exteriores, en tanto que los interiores son recibidos por la base de la propia torre.
4. Tres tirantes de fibra orgánica, Aramid, que enlazando la última planta del edificio metálico con la coronación del fuste de hormigón, le confieren la rigidez necesaria para limitar sus movimientos y posibilitar de ese modo su función como base fija para el soporte del último subsistema.
5. Un mástil metálico de 82,5 m de altura, que corona la torre por encima del fuste de hormigón. Formado en su parte inferior por una sección tubular de 2,70 m de diámetro, en una longitud de 21 m experimenta una reducción hasta 2,20, que se prolonga hasta los 38 m de longitud. A partir de este punto continúa en celosía de sección cuadrada de 1,50 m de lado, que finalmente se transforma en otra similar de 0,90 m. Esta última celosía se remata por una pequeña grúa automática de 7,5 m de brazo, giratoria en horizontal y en vertical, para que normalmente pueda estar en posición de prolongación de la verticalidad del sistema.

La base del fuste arranca de una cota situada 20 m

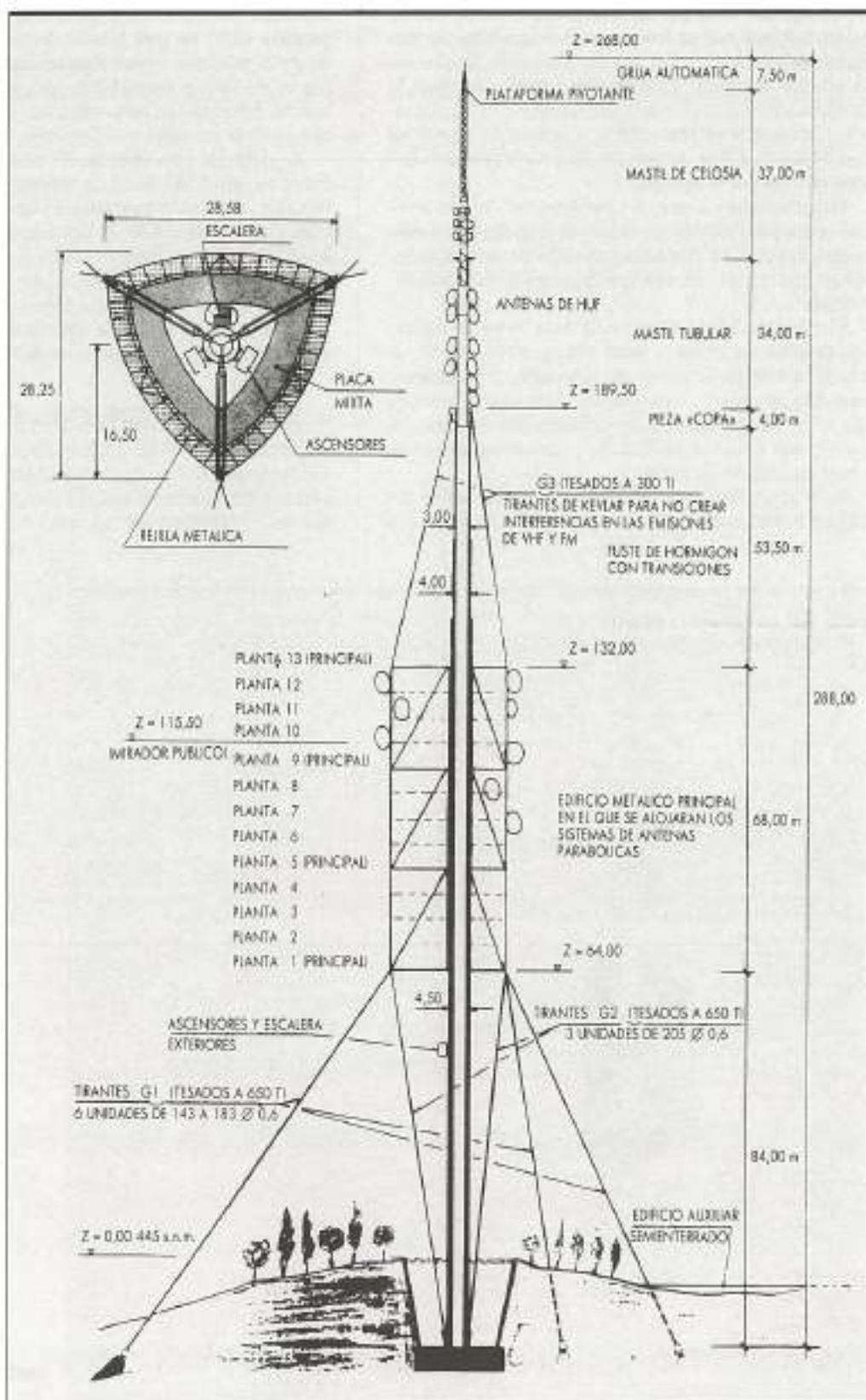


FIGURA 1. Descripción general. Alzado y planta.

por debajo del nivel del terreno natural, dentro de un recinto limitado por un tronco de cono invertido, de secciones homotéticas con el modelo formal de las plantas del edificio metálico. Este recinto permite restituir la continuidad del paisaje mediante el relleno de la excavación adicional y se materializa a través de muros de contención de 0,3 m de espesor, con contrafuertes dorsales ocultos por el relleno.

Todos estos sistemas se interconectan en una solución estructural híbrida, en la que se emplean adecuadamente combinados diferentes materiales: hormigones, estructuras metálicas, tirantes de acero y de fibras orgánicas.

El concepto básico estructural de la Torre de Collserola consiste en situar a gran altura, alrededor de un esbeltísimo fuste cilíndrico de hormigón, y totalmente vinculado al mismo, una potente estructura metálica que, a la vez que alberga las unidades funcionales, actúa a modo de corsé rigidizante y arriostrante del elemento central de hormigón.

Este conjunto queda fijado en el espacio por la acción sobre tres puntos del plano inferior del edificio que

coinciden con los vértices del triángulo de la planta separados 120°, de tres grupos de tirantes pretensados, de gran potencia, cuyas dimensiones fueron establecidas no en base a necesidades resistentes sino con criterios de deformación muy estrictos, exigidos por la operatividad de los telecomunicaciones (Fig. 2).

A partir de este sistema así inmobilizado, se fija el borde superior del fuste de hormigón a la estructura metálica, mediante tres cables superiores, también situados en planta a 120° de separación angular. Con ello se obtiene en la cumbre del fuste a 205 m de altura un punto de mínima movilidad, a partir del cual surge un mástil metálico que sustenta principalmente el aparato de la parte de audio de las comunicaciones, que requieren menores condiciones de deformabilidad.

3. SOLUCION CONSTRUCTIVA ADOPTADA

La construcción de un edificio singular de características estructurales inusuales y destacadas se basa fundamentalmente en la adopción de un proceso constructivo que esté perfectamente ajustado y adaptado al caso, lo

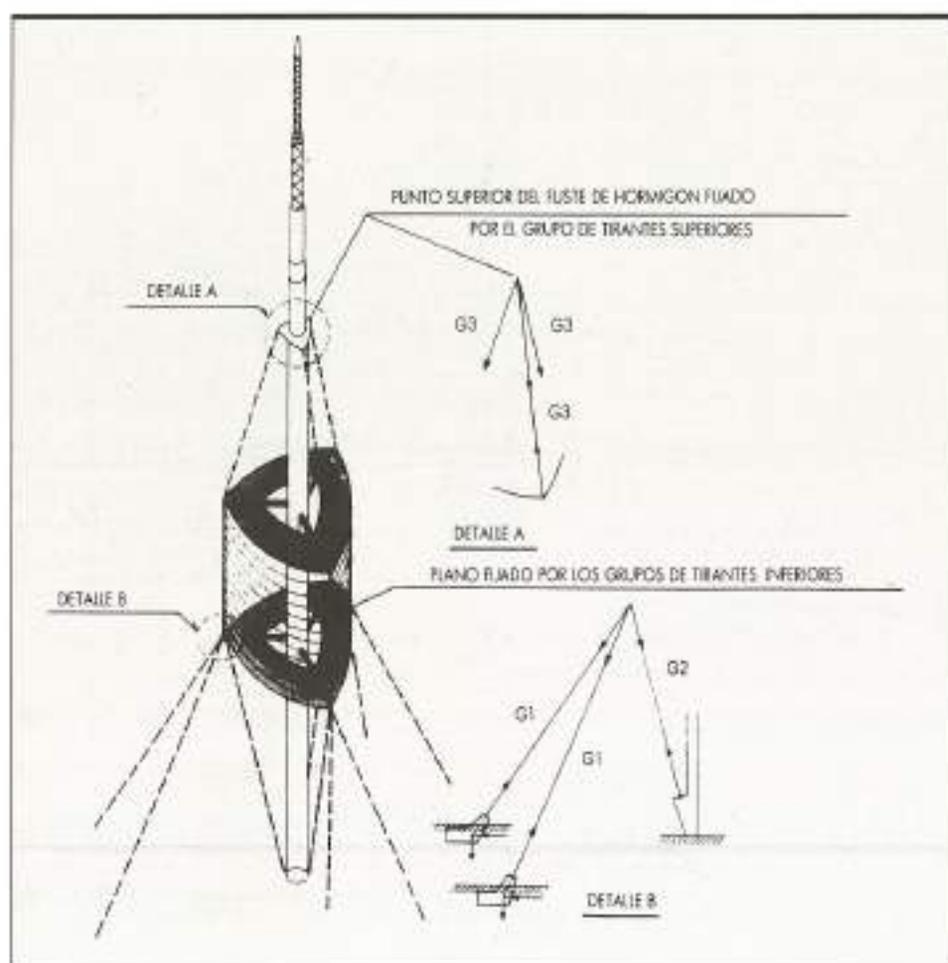


FIGURA 2. Esquema del sistema resistente.

que implica una profunda interacción y compenetración entre el proyecto inicial y el ejecutivo final. Esto es un hecho que se repite constantemente en toda obra excepcional y que en el caso de la torre estaba además explícito en las condiciones del concurso de construcción, ya que se exigía la comprobación de una serie de elementos y operaciones proyectados tan sólo hasta el nivel necesario para poder realizar una valoración de las obras.

De esta forma, CUBIERTAS Y MZOV, al hacerse cargo de la realización de la obra, además de desarrollar el proceso constructivo, y en parte como consecuencia de ello, analizó el comportamiento del fuste de hormigón para garantizar su resistencia y estabilidad durante todas las configuraciones por las que debía atravesar durante las etapas de su ejecución, e incluso en su situación de servicio definitivo; modificó la tipología inicial de los tirantes y de sus anclajes; la concepción estructural de los forjados del edificio metálico y, por último y no menos importante, el esquema de conexión entre el fuste de hormigón y la estructura metálica.

Como consecuencia de esta serie de actuaciones se incorporaron a la obra, de un modo natural y sin artificios, tres elementos estructurales adicionales: el Hormigón Pretensado, los Forjados Mixtos y los anclajes pretensados al terreno de tal modo que con éstos, junto con los definidos por el proyecto inicial la torre pasa a ser ejemplo de funcionalidad estructural, con una utilización armónica de distintos materiales, cada uno de los cuales está colocado en el lugar, y desempeña la función, más acorde con sus posibilidades esenciales.

EL PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

La idea sobre la que se estableció todo el desarrollo del proceso constructivo fue el aprovechar el punto fijo que se debía conseguir en la coronación del fuste para la operatividad del sistema de telecomunicaciones.

En el proyecto inicial este punto obtenía su inmovilidad al final de la secuencia de construcción del conjunto. En el proyecto ejecutivo se cambia completamente de perspectiva y se prevé su realización como etapa previa a la del edificio.

Supuesta la existencia de tal punto se podía prever la construcción de la parte metálica a nivel del suelo, en un plazo de tiempo breve y garantizado, con un coste ajustado, y con la máxima seguridad liberando el riesgo de ejecutar operaciones vitales para la seguridad del sistema bajo la influencia de las condiciones meteorológicas, a gran altura, para después proceder a la elevación de sus 3.000 toneladas de peso total hasta su altura definitiva, 84 m por encima de su posición de montaje inicial.

Se completaría el proceso con la elevación del mástil metálico mediante una técnica similar. Para ello, y esto representa otra interesante aportación del proyecto ejecutivo, el mástil debía estar situado en la vertical de su posición definitiva, es decir, dentro del fuste de hormigón.

Para lograr estos objetivos fue necesario desarrollar

una solución de construcción del fuste, mediante la conocida técnica de encofrado deslizante, y proyectar un sistema de arriostramientos provisionales que garantizaran la verticalidad, resistencia y estabilidad del mismo durante todo el proceso. El edificio metálico se transformó en un sistema autoestable, capaz de comportarse como una estructura y ser trasladado con independencia de sus sistemas de vinculación al fuste, dotándole para ello de los elementos de guía y estabilización necesarios. El mástil, finalmente, se proyectó para que fuera posible su colocación en el interior del fuste cuando la altura del mismo todavía lo permitiera, lo que supuso la introducción de la posibilidad de su telescopado y elevación al final de todo el proceso.

4. DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DEL PROYECTO EJECUTIVO

4.1 LOS TIRANTES METALICOS

En la elección de la tipología de estos tirantes hay que tener bien presente dos condiciones: deben estar articulados en sus dos bordes, en el enlace con la estructura y con el terreno, y deben ser transportados a la obra enrollados en bobinas. En el caso de proyectar un cable cerrado el cumplimiento de la primera condición, que evita



FIGURA 3.



FIGURA 4A.

la introducción de fletores parásitos tanto en el tirante como en la estructura metálica, supondría realizar la conexión a través de una rótula de bulón conectada al tirante mediante una mazarota, al estilo habitual de los cables normales. La segunda implicaría unos radios de curvatura tan grandes que harían inviable el transporte.

Todas estas razones llevaron a elegir el concepto de tirante que es ya práctica establecida en los grandes puentes atirantados, es decir, que se forma por un mazo de torones paralelos, de 13 ó 15 mm de diámetro, solidarizados por presillas a intervalos regulares. Estos tirantes se anclan mediante cuñas resistentes a la fatiga, en un bloque análogo al de los cables postesados. (Fig. 3)

Se utilizó el sistema Freyssinet, con cordones autoprotectidos. Cada torón posee una triple protección al estar galvanizado, y colocado dentro de una vaina individual de material plástico, con los intersticios rellenos de cera petrolera.

La composición de los tirantes corresponden a los mayores fabricados en el mundo hasta la fecha. El bloque de anclaje resistente a fatiga, para los tirantes inte-

riores de 205 torones de 15 mm, ha supuesto un reto a la fabricación de este tipo de piezas que deben cumplir unas condiciones de alineamiento y tolerancias angulares muy estrictas para evitar los problemas de fatiga en los puntos de acunamiento de los cordones.

4.2 LOS ANCLAJES DE LOS TIRANTES DEFINITIVOS

Los tirantes exteriores definitivos se anclan en bloques de hormigón, uno por tirante, que equilibran el esfuerzo a través de su peso, del rozamiento y del empuje contra el terreno. El volumen de esos macizos es de 800 m³. Los interiores, por el contrario, lo hacen en unas cuñas adosadas a la base de la torre (Figs. 4 y 4A).

4.3 LOS TIRANTES DE FIBRA ORGANICA

Los tirantes superiores, cuya misión es inmovilizar la base del mástil, están situados en la zona de emisión, por lo que en caso de ser metálicos serían susceptibles de calentamiento, por absorción de la energía radiante, y además producirían problemas de distorsión de las imágenes emitidas. Por esa razón en el proyecto base figuraban de fibra orgánica.



FIGURA 5.

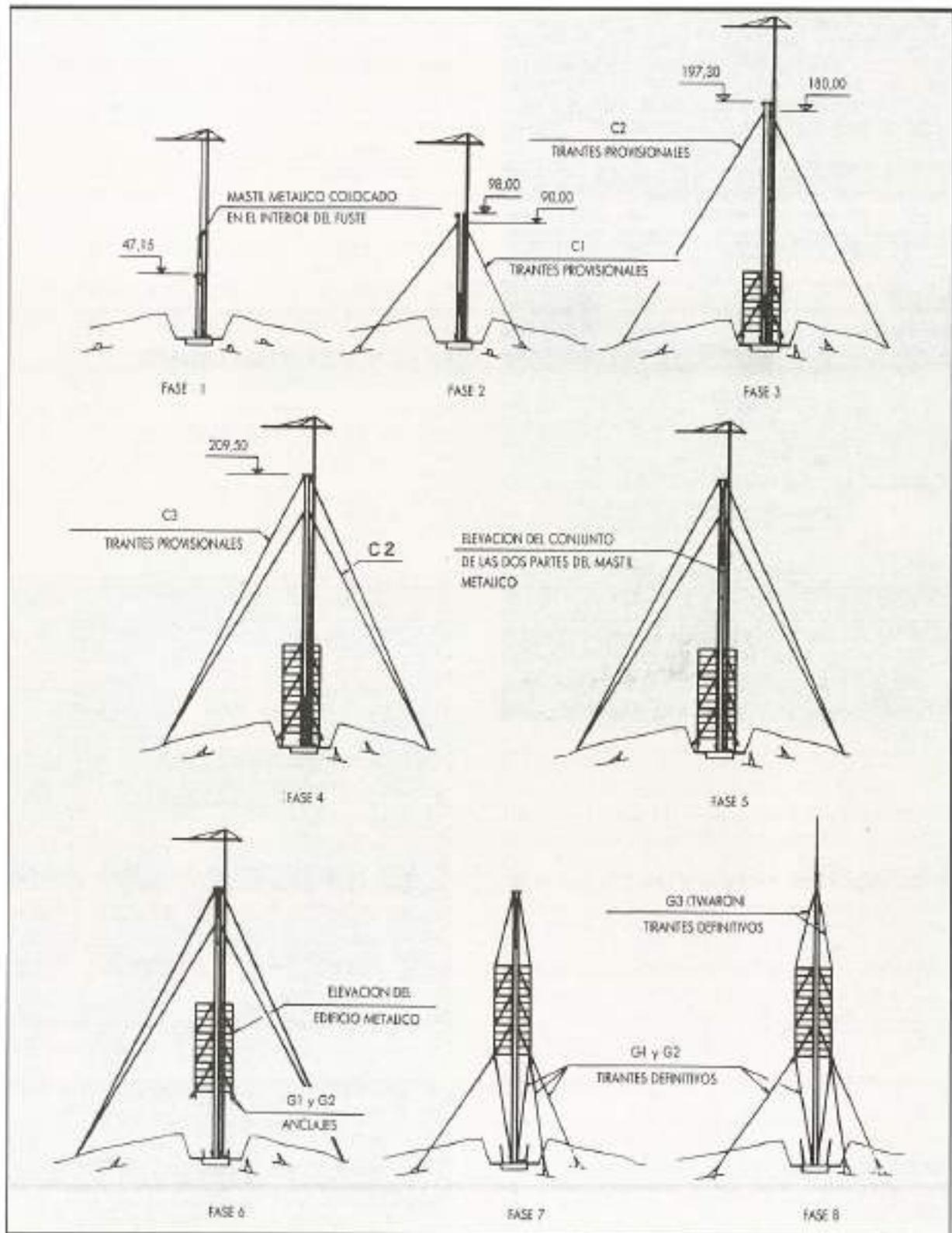


FIGURA 6. fases principales del proceso constructivo.

Durante el proyecto ejecutivo se eligió la fibra llamada Aramid (Poliparafenileno tereftalato), producida por Twaron. Cada uno de los tirantes se compone también de cables en paralelo, en este caso de siete cordones de 50 mm de diámetro, colocados dentro de una vaina de polietileno (Fig. 5).

4.4 LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN

Proceso constructivo del fuste. Partiendo de la situación inicial del elemento empotrado en la base, se determinó hasta qué altura se podía llegar sin introducir otra coacción y, una vez introducida ésta, hasta dónde se podía continuar sin ninguna otra. Así, de modo progresivo se definió la secuencia constructiva siguiente (Fig. 6).

Fase 1. Se construye el fuste en voladizo, hasta los 98 m de altura, límite que no se puede sobrepasar en esta configuración. (Cuando se llegó a los 47 m, se introdujo en el interior el mástil metálico dividido en secciones, una dentro de la otra, a la espera de su posterior izado.)

Fase 2. Se colocan tres tirantes pretensados provisionales a los 90 m de altura, con una separación angular de 120° en planta, que permiten progresar con el deslizamiento del fuste hasta los 185 m.

Fase 3. Se introducen otros tres tirantes provisionales a los 180 m de altura, lo que permite alcanzar la coronación a los 205,5 m de altura. Se retiran los primeros que interferirían con la elevación del edificio.

Fase 4. Con una sola familia de tirantes se comprueba que el fuste no puede soportar el peso del edificio colgado, actuando en su coronación, por lo que se introduce un tercer sistema de tres tirantes. Estos últimos están anclados a la pieza metálica que realiza la transición entre el hormigón del fuste y la base del mástil metálico.

Esta pieza, llamada «copa» por su forma, se convierte, de un mero elemento de enlace entre dos sistemas heterogéneos, en una de las claves del proceso de elevación. (Fig. 7)

Fase 5. Se elevan, pero sin asomar, el conjunto de las dos partes del mástil de acero.

Fase 6. El edificio metálico es elevado a su posición definitiva.

Fase 7. Los cables definitivos van siendo colocados y simultáneamente se retiran los provisionales.

Fase 8. Se realiza la elevación y telescopado del mástil.

Los arriostramientos provisionales. La estabilidad en construcción se consiguió dimensionando los tirantes provisionales para que proporcionaran la rigidez necesaria.

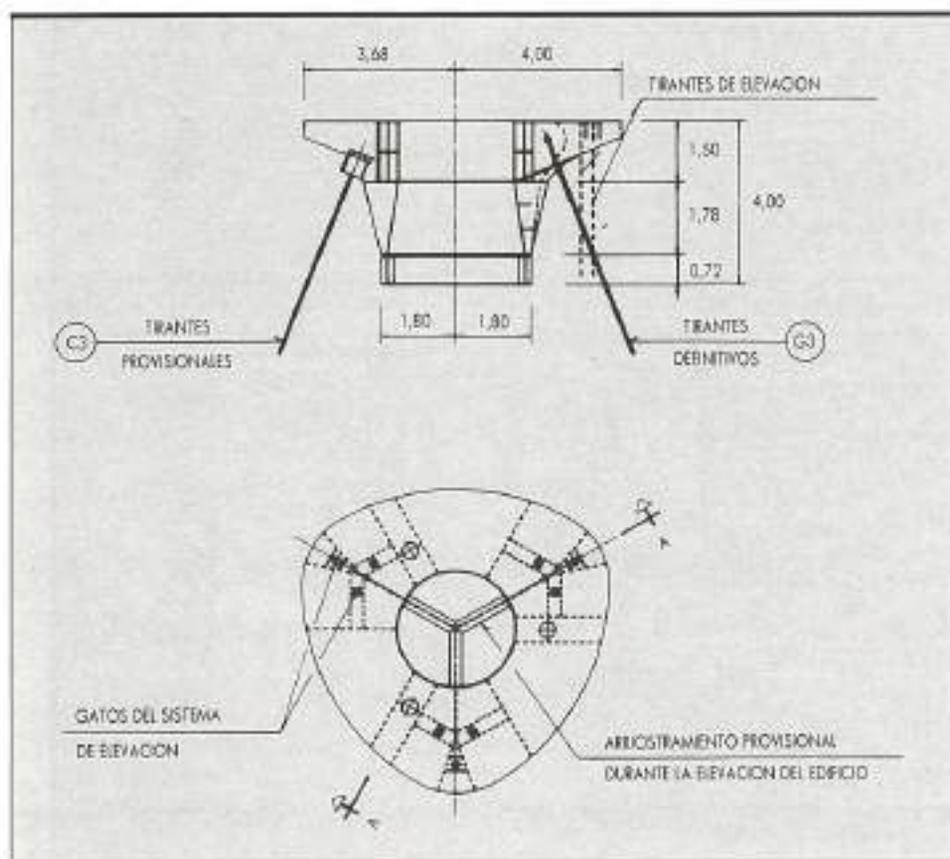


FIGURA 7. Pieza especial en forma de «copa» situada en la coronación del fuste de hormigón.

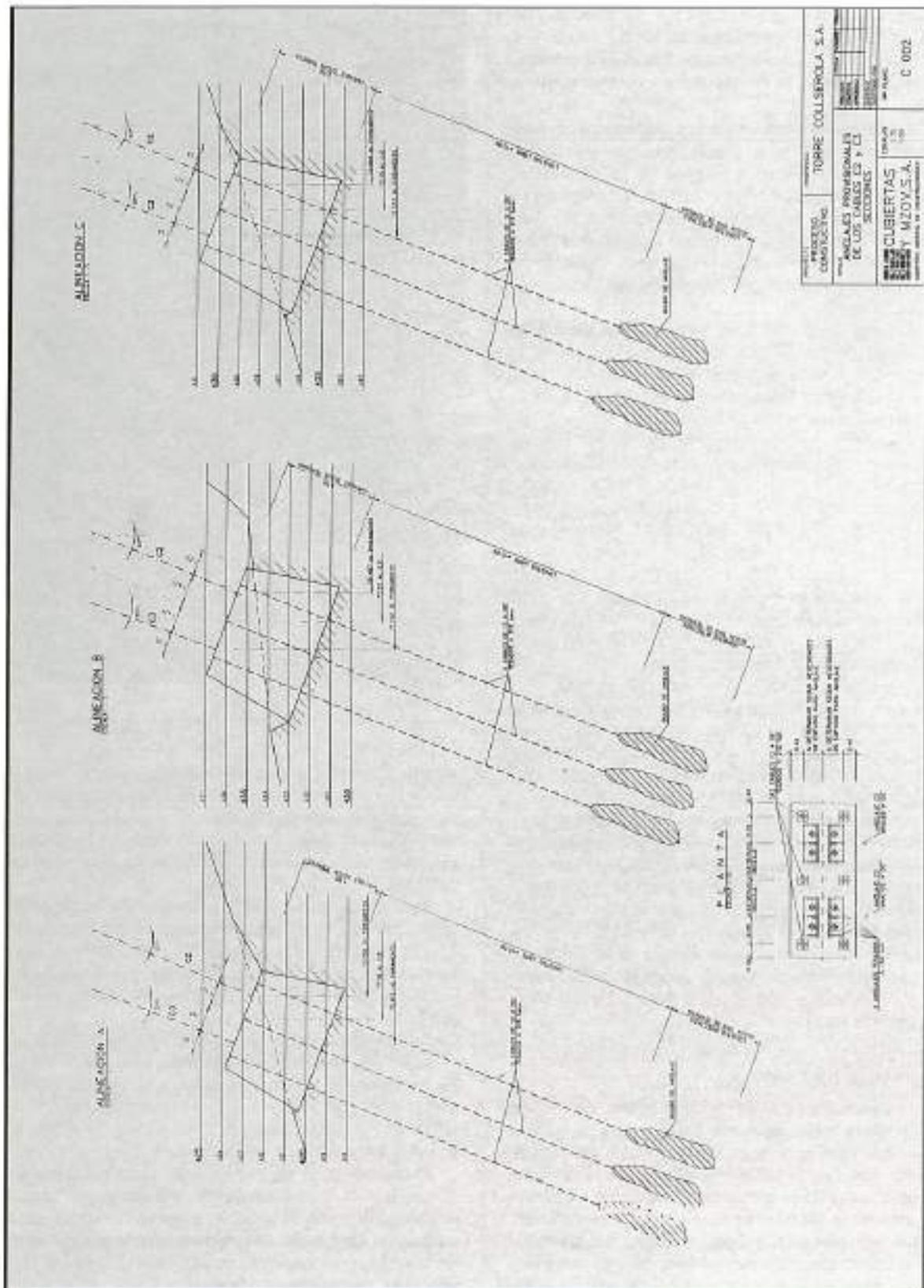


FIGURA 9.

ria para limitar los desplazamientos del sistema. De modo análogo a los definitivos, su configuración era consecuencia no del esfuerzo que tenían que resistir, sino de la rigidez con la que debían ayudar al fuste exento.

El enlace con el fuste en los dos primeros niveles se consigue a través de unas piezas metálicas especiales, concebidas con un diseño análogo al de las empleadas en las uniones del edificio con el fuste de hormigón, que se colocan desde el interior de dicho fuste en unas ventanas dejadas a tal efecto. El último sistema de atirantamiento provisional se anela en la pieza metálica de transición entre el hormigón y el mástil metálico de coronación (Fig. 8).

Los cables del primer nivel se anclan aprovechando tres de los macizos que más adelante recibirán a los tirantes definitivos. El enlace se realiza mediante unas piezas metálicas pretensadas en su extremo inferior a través de una placa contra dichos macizos, mediante barras, y que en su extremo superior reciben los bloques de anclaje de los torones que componen cada tirante.

Para el anclaje inferior de los dos sistemas estabilizantes más elevados, no se consideró conveniente reutilizar los bloques definitivos, pues su posición interferiría con el montaje de los tirantes finales. Se decidió situarlos en planos girados 30° en planta, con respecto de la posición de aquéllos. Por lo tanto, hubo que proyectar nuevos elementos de equilibrio y recepción de sus esfuerzos y para ello, en lugar de recurrir al peso de un macizo de hormigón como en los tirantes definitivos, se decidió realizar un anclaje al terreno (Fig. 9).

La composición de los tirantes provisionales varía entre 45 y 85 torones de 15 mm que, dado el corto plazo en que debían utilizarse y las tensiones relativamente bajas a que se tesaron, se colocaron sin ningún tipo de protección. Su puesta en tensión se llevó a cabo con el mismo procedimiento previsto para los definitivos (Isotensión con gato Unifilar), calculando previamente cuál era el máximo desequilibrio de esfuerzos admisible, entre tirantes de un mismo nivel, que se produce por la imposibilidad de tesar simultáneamente los tres elementos. Este desequilibrio depende el número de cordones ya colocado, y es tanto mayor cuanto lo es aquél. Se previeron seis etapas de control, donde se debían regularizar los esfuerzos introducidos, aunque no fue necesario realizar tal operación (Fig. 10).

4.5 LA ESTRUCTURA METÁLICA

Proceso constructivo por elevación completa del edificio y doble telescopado del mástil. La idea para su realización se basó en el aprovechamiento máximo de las posibilidades ofrecidas por el punto que corona el fuste del hormigón —realizado previamente mediante encofrado deslizante en la forma descrita— para, al modo argui-mediano «de mover el mundo mediante un punto de apoyos», izar desde el mismo a todo el edificio y empujar el mástil metálico superior durante el proceso de teles-



FIGURA 10.

copado. Con este proceso constructivo, al eliminar prácticamente todas las operaciones de ejecución a gran altura, aparte de la especial espectacularidad de la construcción, se conseguía un elevado grado de seguridad, precisión, calidad y control, con costes y plazos muy favorables.

Esta nueva conformación autónoma del edificio metálico, además de garantizar una ejecución sencilla del mismo, permitía que su vinculación con el fuste se efectuara en un número mínimo de puntos, precisamente en los 12 nudos de contacto de las grandes celosías con dicho fuste.

Se diseñaron para ello unos apoyos articulados en ménsula que, sobresaliendo del fuste a través de alveolos provisionales efectuados durante la ejecución deslizada y que posteriormente se hormigonaron (Fig. 11) se unían a la estructura metálica del edificio, a través de grandes bulones de acero especial.

Estas ménsulas se empotran al fuste mediante un dispositivo de transferencia de tracciones por placas dorsales interiores de reparto, y basas de apoyo en el umbral de los huecos; complementándose el dispositivo de transferencia mediante la interconexión de las tres ménsulas de cada piso principal a través de estrellas

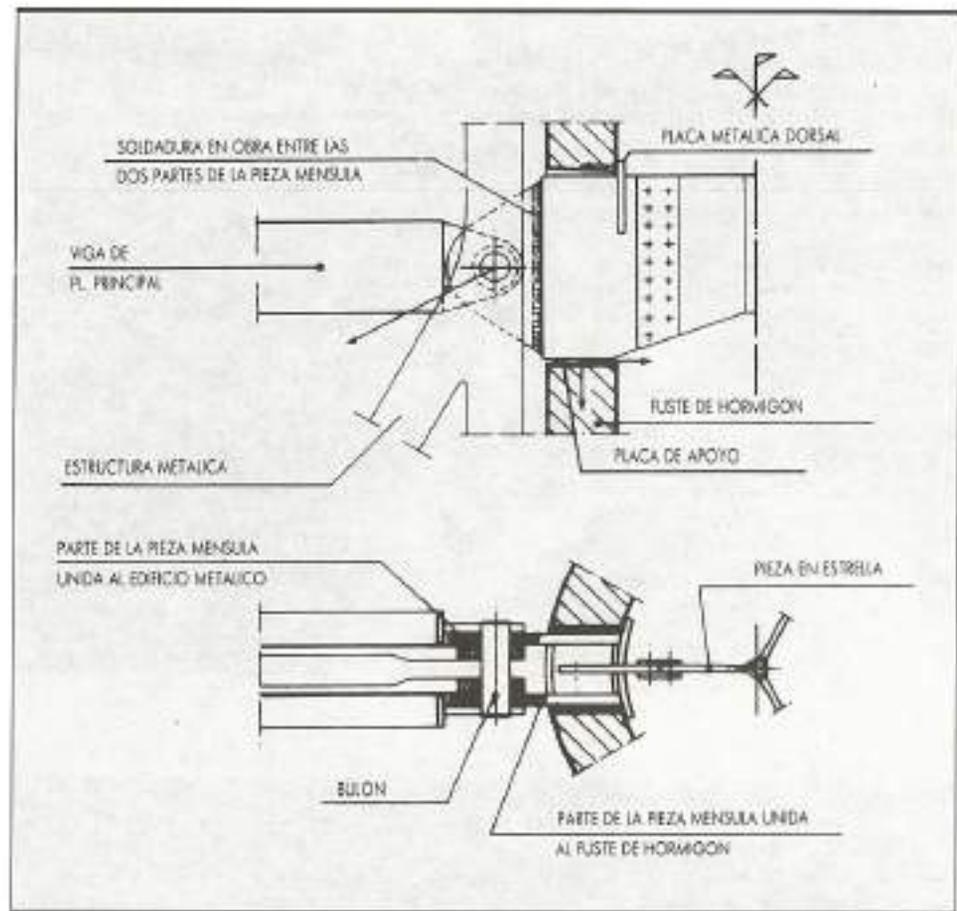


FIGURA 11. Disposición de las piezas ménsula y en estrella de una planta principal.

metálicas de tres brazos, que permiten equilibrar gran parte de los esfuerzos de tipo simétrico y reducir sollicitaciones locales sobre el fuste en los casos de carga asimétricos.

Para impedir durante la elevación del edificio el basculamiento vertical de las celosías principales, solicitadas de puntos no alineados con su centro de gravedad de masas (Fig. 12), la estructura de las plantas de piso

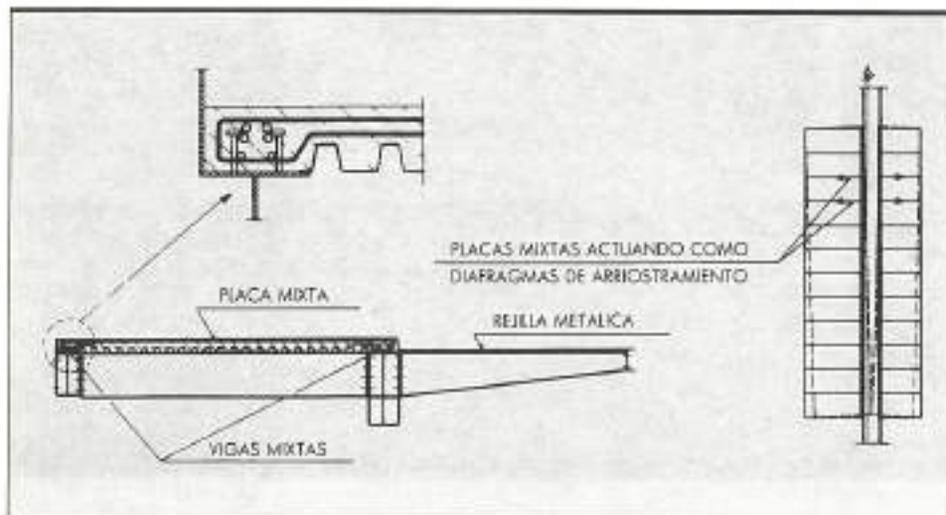


FIGURA 12. Diafragmas mixtos del edificio metálico.



FIGURA 13.

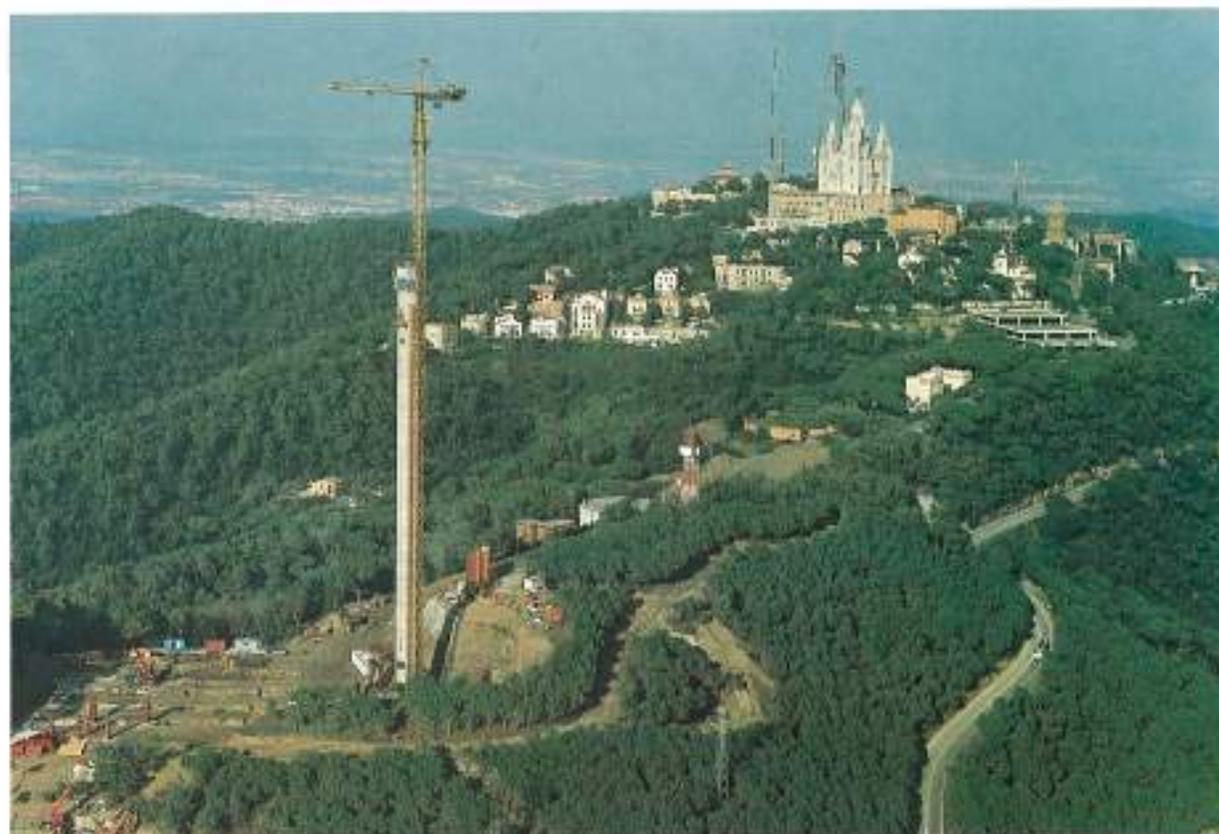


FIGURA 14.

fue modificada, pasando las losas simples del proyecto a forjados mixtos de hormigón y chapa nervada, los cuales se conectaron a su vez, formando vigas balcón mixtas, con los perfiles principales periféricos, que se redujeron de dimensiones.

El proceso constructivo completo de la estructura se describe con detalle en las siguientes fases, que se co-

mentan ligeramente complementando lo expuesto anteriormente.

1a. Hormigonado del fuste hasta 47,15 m, con ayuda de la grúa torre de 7,5 t de carga máxima, creciente y arriostrada con dicho fuste; altura adecuada para poder introducir mediante grúas automóbiles auxiliares los elementos del mástil metálico.

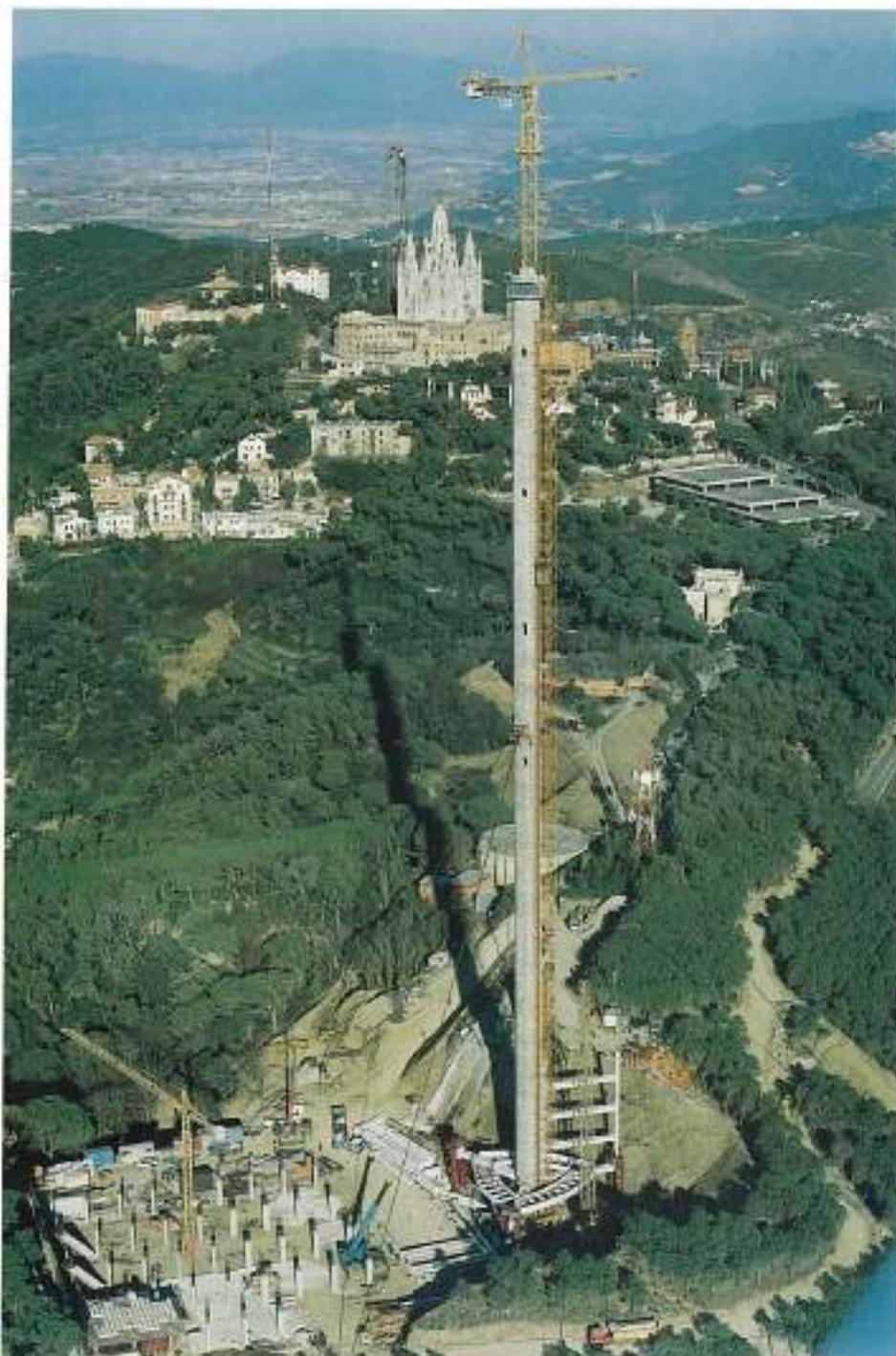


FIGURA 15.

1b. Introducción en el fuste de los tramos tubular (Fig. 13) y de celosía, previamente formados en obra cada una mediante dos segmentos unidos por tornillos de alta resistencia; el tramo de celosía se introducía en el tubular empleando los sistemas de carriles y ruedas previstos para el telescopado.

2a. Continuación del hormigonado del fuste hasta los 98 m de altura, máxima admisible en voladizo libre por este elemento (Fig. 14).

2b. Colocación del primer grupo de tirantes provisionales (C1) de arriostamiento del fuste.

3a. Comienzo del montaje de la estructura metálica,

dispuesta sobre los soportes auxiliares para lograr la altura adecuada para el paso y trabajos en la plataforma inferior y realizar el posicionamiento correcto de los elementos de anclaje de los tirantes definitivos inferiores.

3b. Continuación del hormigonado del fuste hasta la altura de 197,8 m, máxima admisible en voladizo asistido por los cables C1 (Fig. 15).

3c. Colocación del segundo grupo de arriostamientos provisionales C2. El anclaje inferior se realizó sobre elementos provisionales vinculados al terreno mediante anclajes al mismo (Fig. 16).

4a. Continuación del montaje del edificio metálico y



FIGURA 16.

hormigonado de sus forjados mixtos. El edificio se arriostraba al fuste por medio de los mismos pórticos pretensados de bloqueo que se emplearían durante el proceso de elevación.

4b. Final del hormigonado del fuste a la altura de 205,5 m, incorporando en su extremo los tornillos de alta resistencia para bloqueo de la pieza de remate, «copa».

4c. Colocación de la pieza «copa», con un peso total de 27 t, en cinco fases para mantener el peso límite de 7,5 t requerido por la grúa torre.

4d. Colocación del tercer y último grupo de cables provisionales de arriostramiento C3.

4e. Eliminación de los tirantes C1. El fuste de hormigón arriostrado en su coronación por los grupos C2 y C3 era adecuado tanto frente a las acciones aisladas de viento, como al conjunto de éstas y la carga del izado del edificio transmitido en su extremo superior (Fig. 17).

4f. Finalización de la estructura metálica del edificio e incorporación de parte de los materiales no resistentes; las condiciones de diseño y acabados arquitectónicos retrasaron la inclusión de los cerramientos que se pensaban izar junto con la estructura.



FIGURA 17.

5a. Elevación del conjunto del mástil replegado.

5b. Disposición, a través de su elevación por el inferior del tubo mediante polipasto colgado del mástil cilíndrico, de las piezas de apoyo de las ménsulas de las plantas principales.

5c. Posicionamiento del sistema de izado del edificio: gatos, cables, desviadores, anclajes, grupos de presión, enrolladoras, etc.

6a. Izado del edificio con un peso real total de 2.700 t, mediante un grupo de nueve gatos de 330 t de capacidad (Fig. 18).

Los sistemas de bicicletas y pórticos pretensados de bloqueo para control fueron en cada jornada activados y desactivados, hasta su bloqueo final provisional al término de la elevación (Fig. 19).

6b. Operación de transferencia del edificio al fuste en forma secuencial de abajo arriba en las cuatro plantas principales, mediante sucesivo bloqueo, con chapas, de las ménsulas en las chapas metálicas previstas en los umbrales de los alveolos del fuste; y rejuntado de las placas dorsales con morteros autonivelantes de alta resistencia.

7a. Comienzo del montaje y tesado de los cordones de



FIGURA 18.



FIGURA 19.



FIGURA 20.

los cables definitivos G1 y G2 a 650 t, en secuencias apropiadas para no distorsionar o flectar en exceso al sistema; y combinándose con la eliminación, también gradual y equilibrada de los tirantes C2 y C3 (Fig. 20).

7b. Tendido de los cables G3 a 300 t en la secuencia apropiada, de forma que la plataforma de la copa queda rígidamente vinculada al edificio.

8a. Deslizamiento telescópico del elemento de celosía del mástil, rodando por el interior del elemento tubular, mediante cuatro gatos de 10 t apoyados sobre el propio sistema tubular (Fig. 21).

8b. Soldeo final del anillo inferior del mástil a la copa y relleno de mortero de la zona superior cilíndrica de contacto entre ambos elementos. Final de la ejecución de la estructura (Fig. 22).



FIGURA 21.



FIGURA 22.



Torre de Telecomunicaciones de Colsemita, Barcelona



Puerto deportivo Mazagón, Huelva.



Pabellón de España, Expo'92, Sevilla.



Línea alta velocidad Madrid-Sevilla,
Tramo: Conquista-Brazafortas.



Nudo de la Trinidad, Barcelona.

MÁS

DE

75 AÑOS

AVALAN

NUESTRA

CALIDAD



CUBIERTAS

Y MZOV, S.A. CIA. GRAL. DE CONSTRUCCIONES