

Nueva Torre de Control del Aeropuerto de Barcelona Diseño, cálculo, procedimiento y montaje

The new Barcelona Airport Control Tower.
Design, calculation, procedure and erection

Bruce S. Fairbanks. Arquitecto
Mauro E. Giuliani. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Proyecto de Estructura
Cesar Sardans Ramón. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de Obra
Eduardo Montero Fernández de Bobadilla. Arquitecto técnico
emontero@gop.es

Resumen: La nueva torre de control del Aeropuerto de Barcelona nace con voluntad de convertirse en un hito de referencia, tanto para el aeropuerto como para la ciudad.

Todo, la arquitectura, la ingeniería y la construcción, se enfoca hacia la consecución de este objetivo. Obras de esta naturaleza solo son posibles con un cliente, como es en este caso Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), que además de tener una clara voluntad de servicio apuesta por estar en la vanguardia de la arquitectura y la técnica.

Palabras Clave: Arquitectura, Torres, Ingeniería, Dovelas, Prefabricados

Abstract: The new control tower at Barcelona Airport was designed as a landmark construction both for the airport and the city.

The entire architectural, engineering and construction process was geared towards this objective. Projects of this nature are only possible when clients, in this case AENA (Spanish Airports and Air Navigation), have a clear focus on service and choose to be at the forefront of architecture and technology.

Keywords: Towers, engineering, prefabricated structures

1. Introducción

La Nueva Torre de Control del Aeropuerto de Barcelona marca un hito de referencia para el aeropuerto y la ciudad de Barcelona. La torre cumple un riguroso programa de necesidades con un diseño singular. La estructura ordena las necesidades funcionales y a la vez configura la expresión arquitectónica de la torre. En la fase de proyecto se desarrollaron detalladamente los procesos constructivos que también contribuyeron al resultado final. La arquitectura, la estructura y los procesos constructivos se conjugan para conformar la imagen de la nueva torre.

2. Arquitectura

La ubicación de la torre tuvo una importante influencia en su diseño final. El solar definido en el plan di-

rector del aeropuerto es un cuadrado de 80 x 80 metros situado entre las pistas (las existentes y la nueva) y junto al futuro edificio satélite previsto. La situación, la dimensión del solar y la exigencia de la visibilidad establecieron 3 aspectos fundamentales: La altura de la torre, la forma del edificio base y la necesidad de visibilidad a 360°.

La altura del fanal (sala de control) está definida por los ángulos de visibilidad a las cabeceras de pista, limitado por el cono de vuelo, en la cota + 65.00, a unos 60 metros sobre rasante. La necesidad de visibilidad desde esta sala es de 360° dada su ubicación centrada entre las pistas.

La forma del octágono fue adoptada para la planta del fanal para responder a la necesidad de visibilidad a 360°. El octágono se adapta a las necesidades de los equipos de control y evita los reflejos producidos en formas circulares o multifacetas. El vidrio del fanal está inclinado a 15° también para evitar reflejos.

La planta octogonal definida por el fanal ha generado el diseño estructural del fuste. Éste consiste en una malla constituida por 16 elementos estructurales en forma de hiperboloide. Los ocho vértices de coronación del hiperboloide sujetan una superestructura de ocho vigas en forma de estrella. Las ocho esquinas del fanal apoyan en las vigas de la superestructura y el resto de espacios requeridos en altura, se distribuyen en dos plantas circulares suspendidas por debajo del fanal.

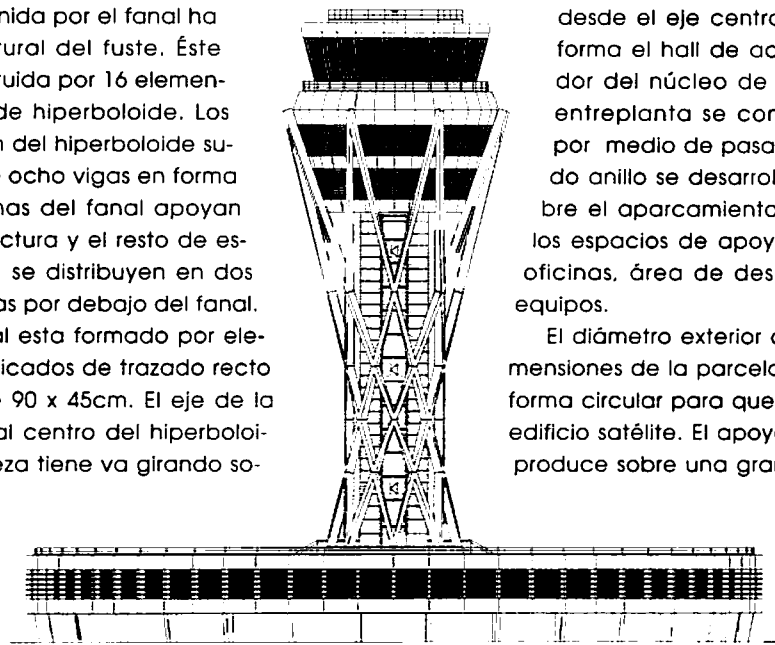
El hiperboloide estructural esta formado por elementos de hormigón prefabricados de trazado recto y con sección constante de 90 x 45cm. El eje de la sección se orienta siempre al centro del hiperboloide de manera que cada pieza tiene va girando sobre su eje longitudinal a lo largo de su altura.

El núcleo central contiene los elementos de comunicación vertical entre las plantas superiores y el edificio base. Está compuesta por dos ascensores panorámicos, dos escaleras de emergencia independientes, y cuatro patinillos de instalaciones. Se ubica en el eje central del hiperboloide estructural y repite la forma octogonal de la planta del fanal.

Los elementos del núcleo están encajados para ocupar la mínima superficie en planta: la doble escalera en forma de tijera ocupa el centro, los ascensores se sitúan a los lados, de forma perpendicular a las escaleras, y los cuatro patinillos cierran las esquinas a 45° entre los ascensores y las escaleras. Los patinillos tienen registros en cada nivel desde los descansillos de las escaleras.

Se ha diseñado el núcleo con elementos ligeros para contrastar con el hormigón prefabricado de la malla del hiperboloide. La estructura del núcleo es autoportante, formada por elementos de aluminio extrusionado. Esta estructura nace en el hall del edificio base y llega hasta suelo del fanal. Su forma octogonal en planta coincide con el trazado de los elementos del hiperboloide permitiendo utilizarla para el replanteo y apoyo provisional de los elementos prefabricados durante la fase de construcción.

En la base de la torre se sitúa un edificio circular que alberga las actividades que no precisan desarrollarse en altura. Está formado por dos anillos concéntricos generados



desde el eje central de la torre. El anillo interior forma el hall de acceso en doble altura alrededor del núcleo de comunicaciones. Desde una entreplanta se comunica con el anillo exterior por medio de pasarelas acristaladas. Este segundo anillo se desarrolla en una planta elevada sobre el aparcamiento, y contiene el programa de los espacios de apoyo a las funciones de la torre: oficinas, área de descanso nocturno y la sala de equipos.

El diámetro exterior del edificio base agota las dimensiones de la parcela definida. Se ha adaptado la forma circular para que sea compatible con el futuro edificio satélite. El apoyo de la estructura del fuste se produce sobre una gran viga en forma de anillo que contiene un lucernario sobre el hall de entrada. Así, la estructura del fuste queda exenta y visible en todo su desarrollo.

3. Estructura

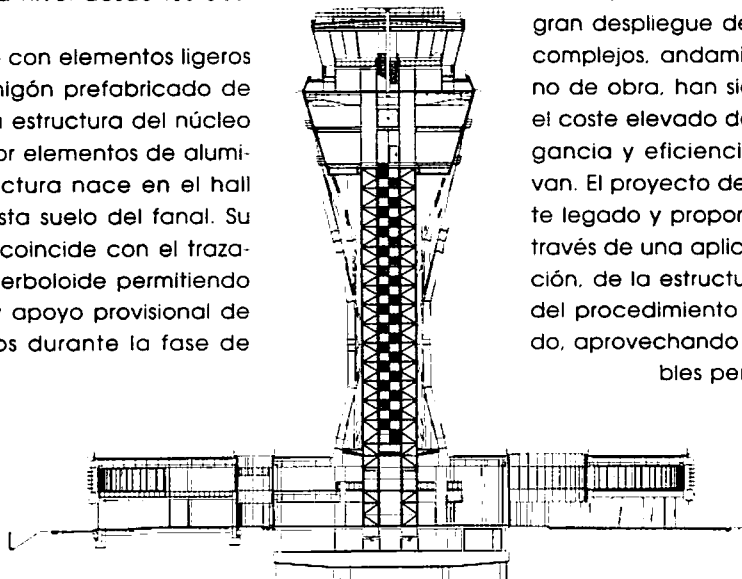
Conceptos generales

La forma resistente del fuste en hiperboloide remonta a las formas primigenias de las estructuras espaciales, cuyas raíces bien se demuestran por ejemplo en la obra de Torroja (el aljibe de Fedala) o de Morandi (en su proyecto nunca realizado para un aljibe en Livorno), pioneros de los límites del hormigón armado.

Tales formas, en su tiempo realizadas (o nunca construidas, como en el caso citado de Livorno) con gran despliegue de obras provisionales, encofrados complejos, andamiajes, y extensivo empleo de mano de obra, han sido hoy en día abandonadas por el coste elevado de su ejecución, a pesar de la elegancia y eficiencia que dichas soluciones conllevan. El proyecto de la Torre de Control interpreta este legado y propone una solución moderna, que, a través de una aplicación extensiva de la prefabricación, de la estructura mixta, y un estudio cuidadoso del procedimiento de montaje y un cálculo refinado, aprovechando los materiales hoy en día disponi-

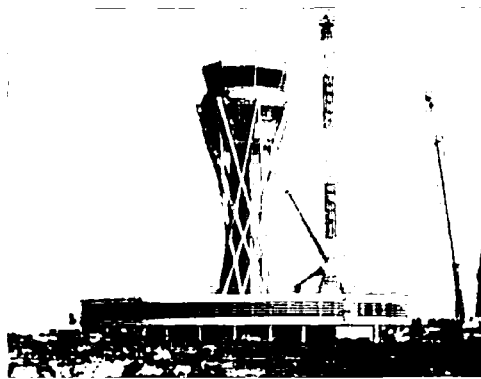
bles permite realizar la forma elegida de manera eficaz y económica, aprovechando sus intrínsecas propiedades resistentes.

El resultado es una estructura que, con un empleo muy limitado de material y recursos, proporciona carac-



terísticas de resistencia y rigidez muy elevadas, permitiendo vertebrar de forma elegante el programa funcional de la Torre.

Desde las primerísimas fases del proyecto, el reto que se presentó a los proyectistas fue la integración de los aspectos formales, resistentes y constructivos de la propuesta. Cabe notar que los primeros esbozos del proyecto se basaban en una estructura del fuste realizada por elementos tubulares en acero, dispuestos según directrices de una superficie hiperbólica. Por motivos de mantenimiento, y dada la cercanía a la costa, Aena descartó la propuesta, excluyendo la solución metálica. Se produjo entonces el momento más intenso del proyecto: el reto consistía en investigar, en un plazo de tiempo muy reducido, las posibles pautas para el desarrollo de esa idea inicial que se consideraba tan atractiva y rigurosa en su determinación formal y resistente. La solución en hormigón prefabricado fue el paso sucesivo. Como es lógico, el cambio de material constituyente produjo unos cambios profundos desde los conceptos de diseño hasta el método constructivo. De hecho, la idea acercada en esbozo con la solución metálica se tradujo en un proyecto completo, profundamente coherente y sumamente más acertado al desarrollarse fi-



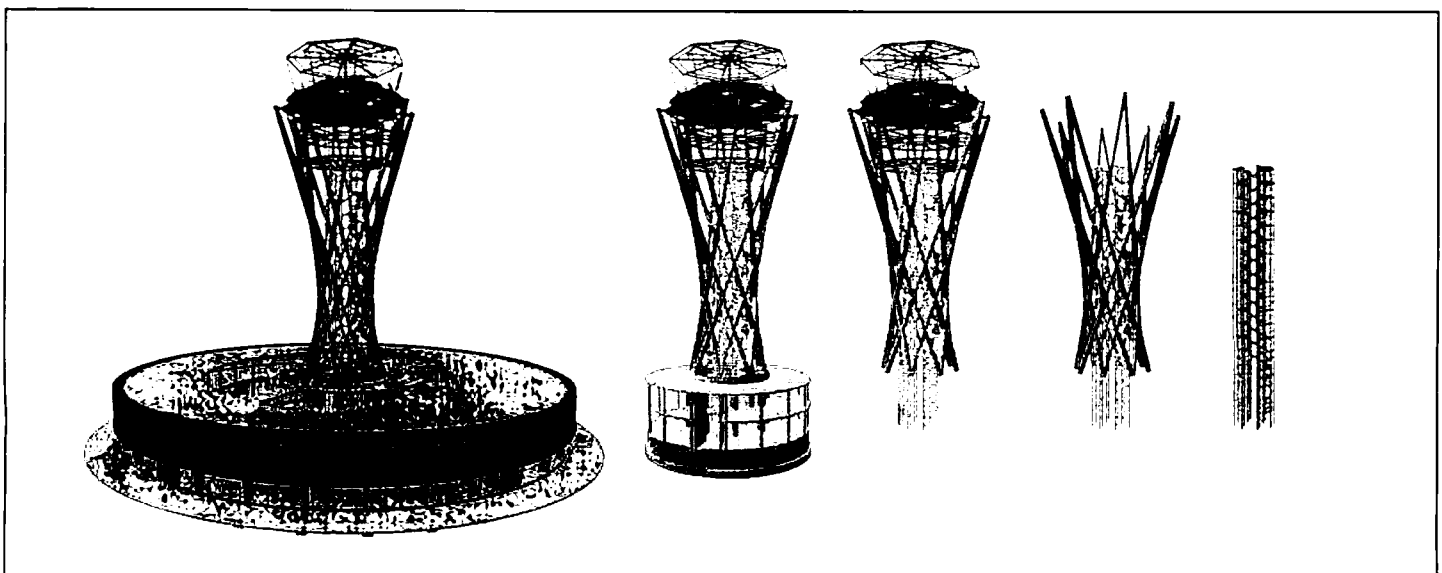
nalmente la estructura del fuste con elementos de hormigón prefabricado. Los temas estructurales fundamentales, cuya resolución se planteó en esta fase primigenia del proyecto, residen en la composición del fuste mediante elementos resistentes prefabricados que necesitan de un sistema eficaz de conexión entre ellos (nudos) y de una colocación espacial rigurosa, y todo esto siendo compatible con un sistema constructivo viable, rápido y económico.

La solución se encontró en la interacción mutua entre el fuste exterior y el núcleo de escaleras y patinillos interior durante las fases provisionales, a través del sistema de nudos, como se detalla más adelante.

Los materiales empleados abarcan un abanico de recursos de la tecnología actual: el fuste exterior de hormigón prefabricado y postensado de alta resistencia; los nudos entre elementos prefabricados realizados mediante tesado de barras de acero de alta resistencia; la estructura de las plantas superiores de acero con forjados mixtos; las escaleras interiores de aluminio extrusionado.

Esquemas resistentes

Desde el punto de vista estructural, se definen dos sistemas principales: la Torre y el edificio de base en anillo exterior.



En la Torre, el fuste en hiperboloide constituye la estructura portante, que sujeta el conjunto de las plantas superiores y el fanal, realizados mediante una estructura mixta acero-hormigón. En el interior del fuste portante, una estructura vertical independiente, realizada en aluminio, conforma las escaleras, patinillos de instalaciones y ascensores. Dicha estructura, muy esbelta y de gran ligereza, se conecta con las plantas superiores del fuste al nivel de la losa más baja.

El hiperboloide arranca desde una potente viga en anillo desde la cota de cubierta del edificio de base; por debajo de dicha viga la estructura se basa en pilares y pantallas realizadas in situ, que transfieren las cargas al sistema de cimentaciones sobre pilotes hincados.

La estructura del edificio de base se resuelve con un sistema de pórticos radiales en hormigón, y algunos núcleos y pantallas con función de arriostramiento horizontal.

Descripción pormenorizada de los aspectos estructurales singulares

Edificio de base interior

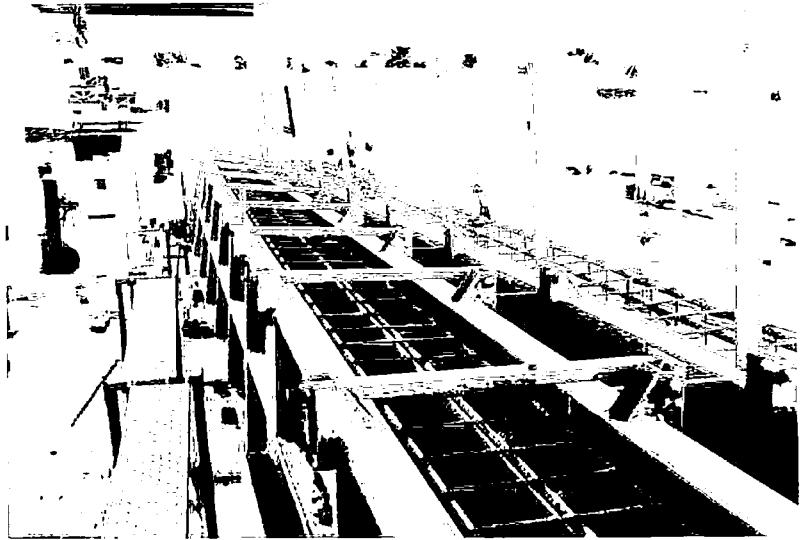
Este edificio de planta circular constituye la base del fuste de la torre. La estructura se basa en un sistema de potentes pilares en hormigón armado, que arrancan de la planta de sótano y sujetan una viga en anillo de gran canto en correspondencia con el nivel de cubierta y el apoyo del fuste de la torre. Los forjados de las plantas intermedias se realizan con losa maciza en hormigón, y apoyan en su borde exterior en pilares circulares realizados in situ.

Unas pantallas de hormigón en la zona central, que corresponden con los patinillos de servicio, forman el apoyo del sistema de escaleras y ascensores que arranca de la planta baja.

Fuste

El fuste es un hiperboloide realizado con elementos prefabricados de hormigón blanco, pretensados. Soporta en sus vértices superiores todo el sistema de las plantas superiores y fanal, y a la vez arriestra horizontalmente el núcleo de escaleras y ascensores colocado al interior del fuste. La estructura que se ha desarrollado se basa en el empleo extensivo de la prefabricación, entendiendo los elementos resistentes como piezas arquitectónicas y estructurales a la vez. Este concepto se extiende al edificio de base exterior, que se describe más adelante.

Las directrices de las piezas arrancan desde ocho puntos. El diámetro inferior es de 12,66 m y el diámetro



Fabricación de las dovelas prefabricadas.

superior es de 23,4 m (a ejes). Las secciones de las piezas son de 45 x 90 cm, y cada pieza es ligeramente pretensada mediante una barra Dywidag axial de 26 mm de diámetro.

Se utiliza hormigón de resistencia característica 40 mpa, realizado con cemento blanco y áridos claros, y mezcla de tipo autocompactable.

Dado que el lado mayor de las secciones de 45 x 90 cm de las piezas esta orientado hacia el eje central de la torre en cada punto, todas las piezas están torcidas a lo largo de su propio eje.

El cruce entre cada línea de la superficie reglada es complanar, es decir que idealmente las piezas se compenetrán en cada nudo. Por este motivo, se inventó un sistema de nudos que permitía despiezar todo el hiperboloide en dovelas, cuya longitud se limita al tramo entre dos nudos sucesivos.

El nudo se compone por los siguientes elementos:

- Corte en plano vertical y horizontal: todas las dovelas prefabricadas presentan unas superficies de corte correspondientes respectivamente al plano vertical pasante por el nudo y al plano ortogonal al eje en ese punto; ambas superficies son dotadas de "botones" para permitir cierta separación y la si-

guiente inyección de mortero de alta resistencia en la junta.

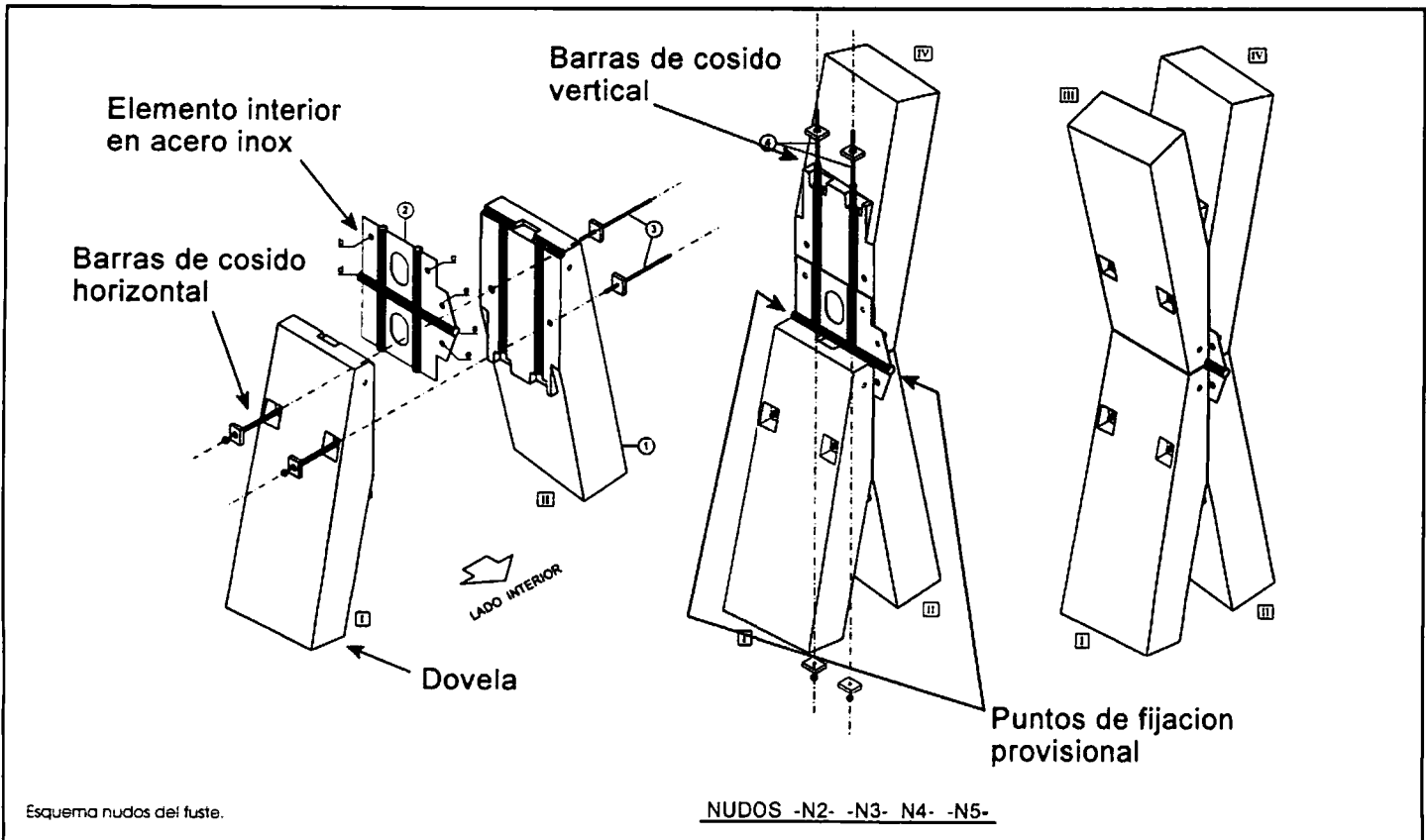
- Elemento interior de acero inox: compuesto por un chapón vertical y unos tubos; dicho elemento es fundamental para el nudo, en cuanto actúa tanto como llave a cortante, que como guía para las barras de cosido y como elemento físico de definición del nudo en el espacio (durante el montaje este elemento se fija provisionalmente al fuste de escaleras que se utiliza como plantilla); esta pieza se dota también de puntos de fijación provisional para las dovelas.

- Barras de cosido horizontales y verticales: tipo Dywidag enfundadas y engrasadas; normalmente de \varnothing 26 mm menos el nudo superior que lleva barras de \varnothing 32 mm.

Plantas superiores y fanal

El sistema de estructuras en altura es de tipo mixto hormigón-acero; basándose sobre vigas metálicas y forjados colaborantes hormigonados sobre chapa plegada.

Todo el edificio en altura se apoya en el fuste en sus vértices superiores mediante un sistema de grandes vi-



Esquema nudos del fuste.

gas, de canto variable con máximo 1,50 m, colocadas a la altura de la entreplanta técnica (c. 56,56). Las dos plantas inferiores se cuelgan a través de unos montantes de fachada y unos montantes internos colocados en las paredes de los patinillos de servicio. El fanal se apoya superiormente mediante un sistema de pilares metálicos y arriostros en cruces de S. Andrés.

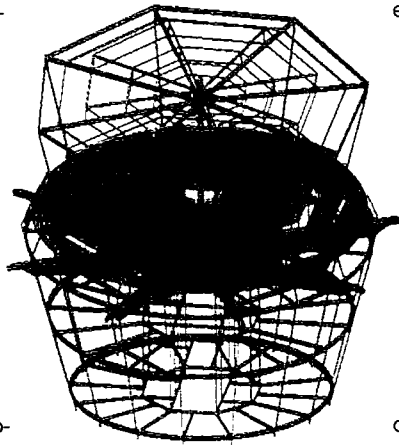
A nivel de las plantas "aire acondicionado" y "simulación/descanso" la estructura se conecta al fuste mediante bielas de arriostros horizontales, que no transmiten cargas verticales.

Todo el sistema se prefabrica para apoyarlo sobre el fuste en dos operaciones de izado mediante grúa de gran capacidad (primero las tres plantas técnicas, y posteriormente el fanal).

Núcleo de escaleras en aluminio

Este núcleo constituye otro aspecto muy especial del proyecto, al haberse desarrollado un sistema estructural novedoso por el empleo de perfiles huecos en aluminio extrusionados a medida, y conexiones mecánicas muy sistematizadas y sencillas. En este sistema también, la coincidencia entre diseño y estructura es completa.

Uno de los requisitos del proyecto es que no se aceptan estructuras en acero vistas, para evitar cualquier problema de mantenimiento dada la cercanía a la mar. Por esto se



Esquema estructuras plantas superiores.

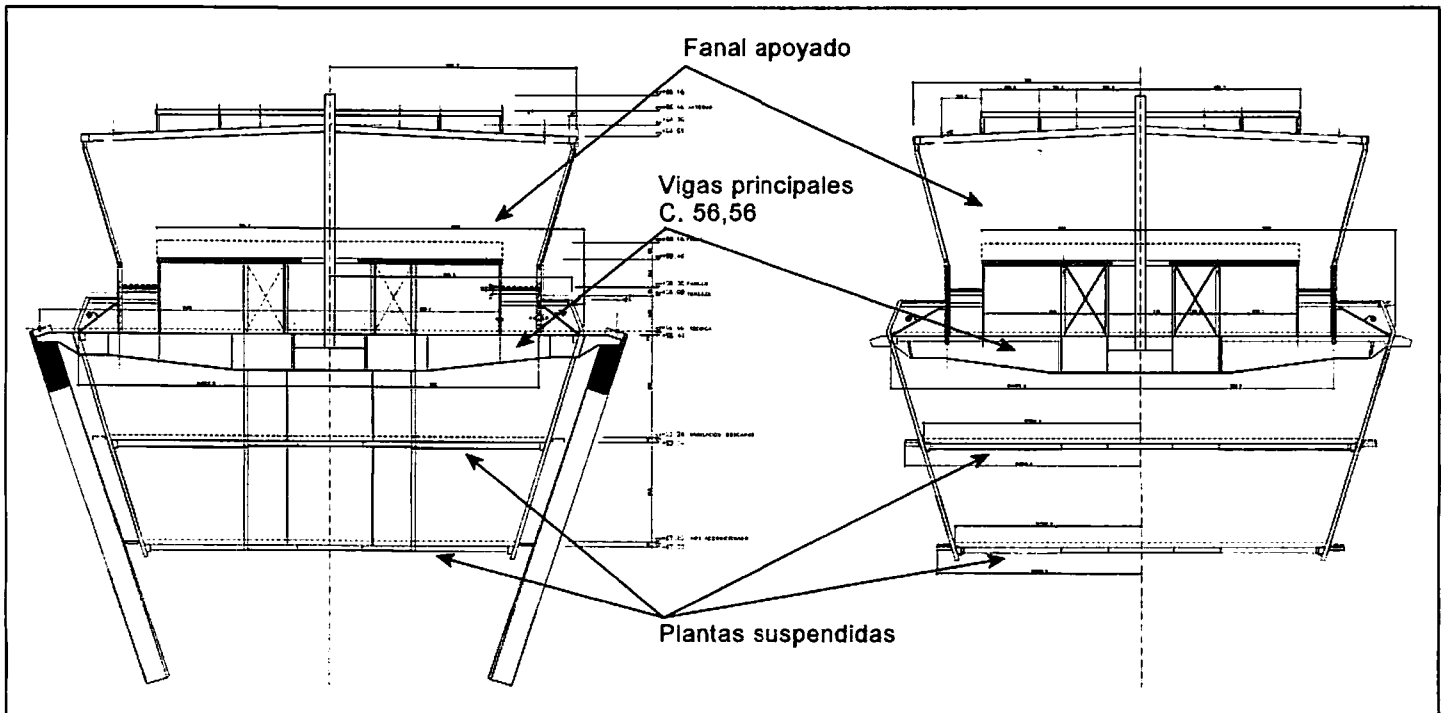
estudio un sistema estructural en aluminio extrusionado, proyectando todos los perfiles y los nudos a partir de las características técnicas de las prensas de extrusión existentes en numero suficiente en el mercado europeo (tamaño máximo del perfil y fuerza máxima). El sistema se proyectó para prensas de 3000 toneladas y dimensión máxima del perfil 300 mm.

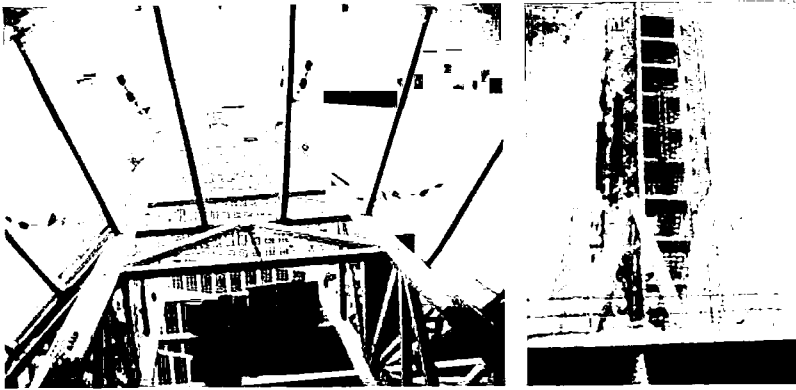
El coste de la extrusión de los perfiles, para las dimensiones utilizadas, es muy poco influyente hoy en día. Además, la realización de toda la estructura, incluyendo los peldaños de escaleras, de aluminio, permite realizar un conjunto económico por su ligereza, y que además elimina cualquier necesidad futura de mantenimiento.

El núcleo de escaleras constituye un sistema estructural independiente frente a las cargas verticales, y se apoya en su base a la altura de la planta baja. Sin embargo durante la fase de construcción, se arriestra en algunos puntos mediante bielas de conexión al fuste prefabricado. También en fase de construcción, actúa como plantilla para el montaje del fuste.

Edificio de base exterior

El edificio exterior situado en la base se ha realizado mediante una estructura en marcos radiales de hormigón y losas hormigonadas sobre placas semiprefabricadas (prelasas). Las vigas radiales son de tipo pretensado en sección





rectangular, conectadas rígidamente a los pilares internos y en apoyo sobre los pilares externos. A efecto de sismo y viento, la losa actúa como diafragma horizontal de conexión entre todos los elementos, y transmite las cargas horizontales tangenciales a las pantallas de hormigón.

Los montantes de los marcos están constituidos por pilares hormigonados in situ en correspondencia con las circunferencias más internas, mientras que en la fachada exterior se realizan mediante pilares esculturales prefabricados, de hormigón blanco. Todo el sistema de fachada es a la vez estructural y arquitectónico, al realizarse mediante un sistema de elementos prefabricados de hormigón blanco que incluye:

- pilares principales de altura doble;
- vigas curvas en cajón en borde de planta primera y cubierta;
- pilares secundarios entre planta primera y cubierta;
- aletas horizontales.

Todo el sistema de nudos y conexiones del sistema de fachada se estudió con especial cuidado para minimizar su impacto visual, realizándose cada conexión con detalles escondidos.

Proyecto del proceso constructivo

La complejidad del esquema geométrico de la estructura portante del fuste, concebida como un conjunto de piezas prefabricadas en hormigón pretensado, conllevó la necesidad de un estudio cuidadoso del proceso constructivo, cuya resolución constituyó una condición esencial para la viabilidad de la solución adoptada.

A este efecto, desde las primerísimas fases del proyecto se desarrolló en detalle un procedimiento de ejecución que se basa en la mutua colaboración entre el fuste central de aluminio y la estructura portante principal prefabricada. Para evitar la necesidad de grandes y aparatosos andamiajes, el fuste central se utiliza como base para el mon-

taje de las piezas prefabricadas: por un lado su estructura proporciona los puntos de amarre para las estructuras provisionales que permiten replantear y colocar los nudos entre las piezas prefabricadas, por el otro permiten apoyar plataformas de trabajo en las alturas necesarias, y las escaleras se pueden utilizar para el acceso a las obras en altura.

Dada la esbelteza de la estructura central de aluminio, este fuste central se ha montando por fases, apoyándose a su vez al mismo fuste exterior de hormigón según se han ido completando los diferentes niveles de nudos entre piezas prefabricadas.

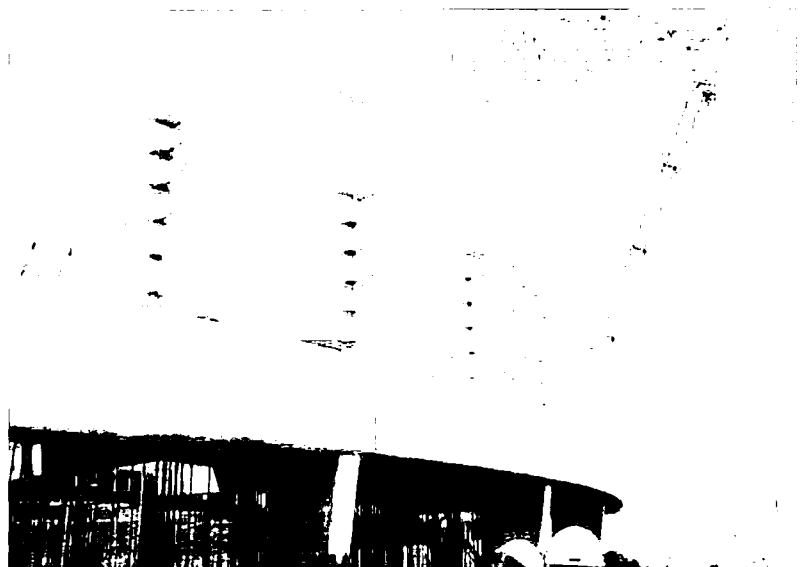
El proceso constructivo concebido es entonces de tipo evolutivo, aprovechándose los diferentes sistemas estructurales para poder actuar sin necesidad de un andamiaje estructural. Este proceso es parte del proyecto desde sus planteamientos iniciales, traduciéndose en los conceptos que se pueden resumir así:

- prefabricación de los elementos del fuste
- solución simple para los nudos
- utilización del núcleo de escaleras como plantilla para el montaje

En detalle, las fases de montaje, una vez completada la realización "in situ" de la base para el fuste de la torre, se resumen en lo siguiente:

- prefabricación a pie de obra de módulos de escalera en aluminio;
- montaje de la escalera hasta una cota superior al primer nudo entre dovelas;
- colocación de elementos rígidos de conexión provisional entre escalera y piezas metálicas Inox de los nudos entre dovelas;

Fachada durante el montaje.



- colocación de dovelas por parejas, conectando las piezas metálicas a los elementos rígidos de conexión provisional;
- una vez completada una corona completa de dovelas, inyección y tesado definitivo de las barras de cosido horizontal;

El procedimiento se repite para cada nivel de dovelas. La interacción mutua entre escalera y dovelas crea en cada etapa una estructura suficientemente rígida frente a las acciones horizontales.

Las fases finales del montaje del fuste son las siguientes:

- la coronación del fuste (c. 56,56) se arriostra en la coronación de la escalera (c. 47,38) mediante tirantes inclinados
- una vez tesadas las barras de cosidos de los nudos de coronación, se coloca un anillo exterior provisional en perfiles metálicos que conecta todos los nudos
- se retiran los tirantes inclinados
- se retira la plataforma de trabajo en la coronación de la escalera
- se procede al izado y colocación del sistema de las tres plantas técnicas, que se "enfilan" desde arriba en la "cesta" constituida por el fuste y se realizan las conexiones provisionales entre estructura metálica y fuste en la cota 56,56
- se procede al izado y colocación del fanal
- soldeos finales de las estructuras metálicas, hormigonado de los forjados, conexión definitiva entre estructura metálica y fuste, acabados

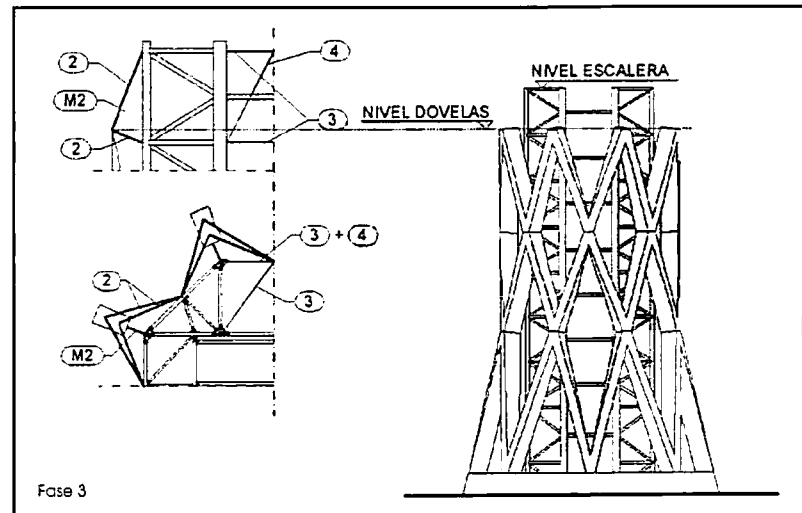
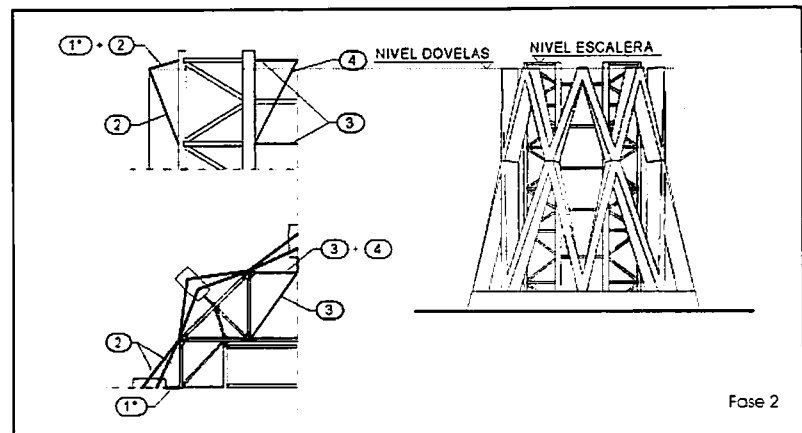
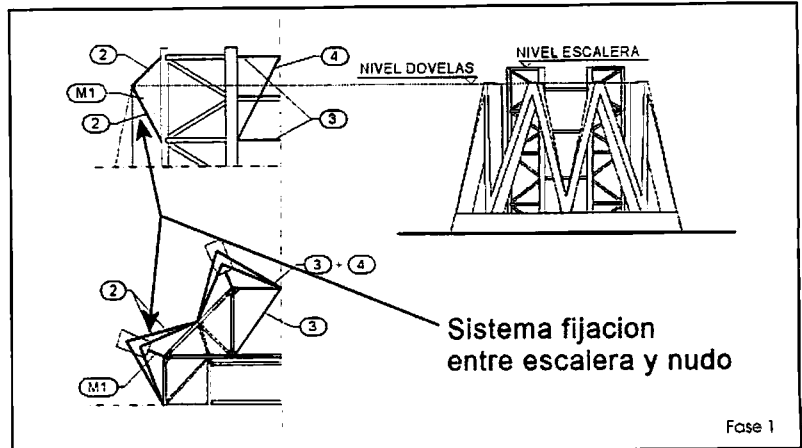
Finalmente, se colocan los elementos (bielas) de conexión definitiva entre núcleo de escaleras de aluminio y fuste exterior, que se limitan a dos niveles, retirándose todos los demás elementos de conexión provisional para montaje.

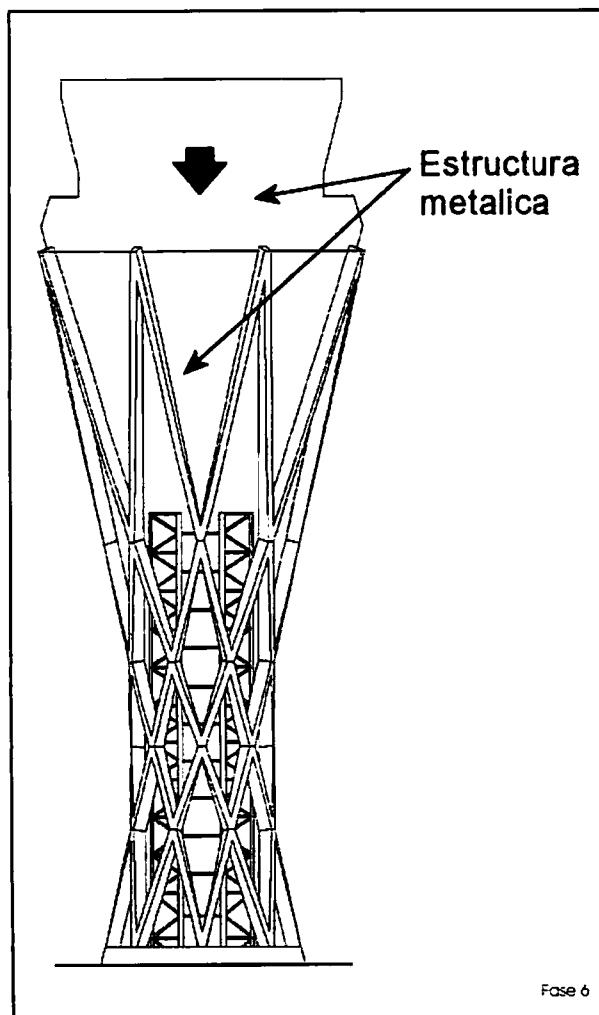
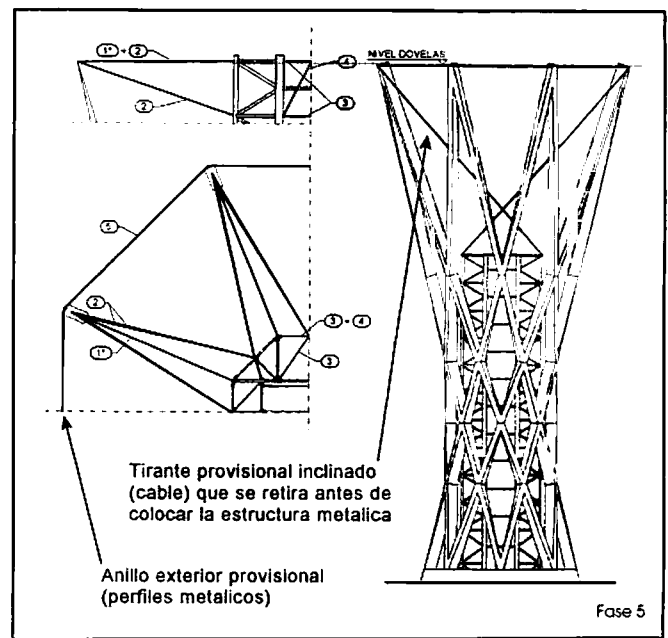
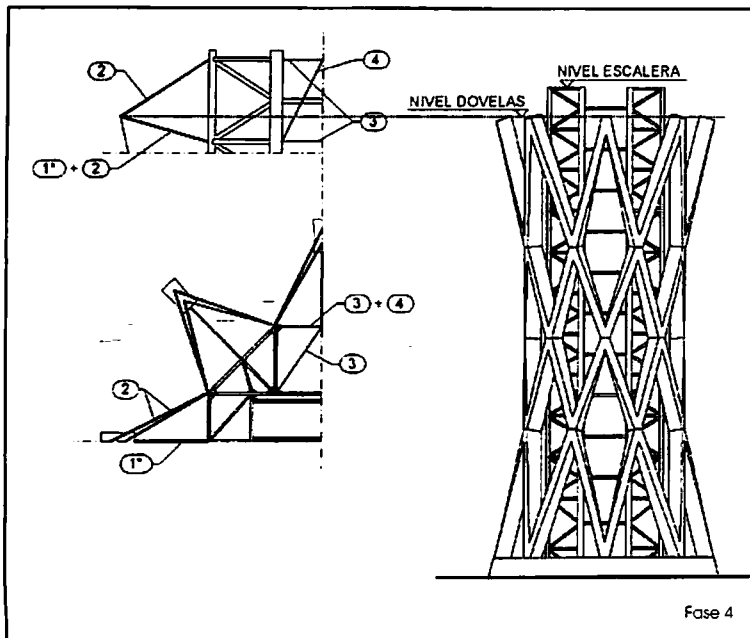
4. Construcción

Dada la tipología del edificio es evidente que el camino crítico en el desarrollo de la obra está en la ejecución del eje central de la Torre consistente en los siguientes pasos: losa de cimentación de sótano, estructura del edificio base central, viga anillo, montaje del núcleo de aluminio, montaje del fuste de hormigón prefabricado, estructura de plantas superiores y acabados. Para conseguir solapes en alguno de estos pasos se decidió montar la estructura metálica de las plantas superiores a nivel de suelo sobre 8 torres cimbradas para que trabajara de la misma forma que en su posición definitiva y prever una grúa móvil de capacidad suficiente para su posterior izado. Esta decisión permite también montar la estructura metálica en unas condiciones

de seguridad óptimas a nivel de suelo y asegurar las condiciones de trabajo una vez izada ya que la chapa colaborante sube montada junto con las barandillas perimetrales, minimizando así los trabajos de montaje de estructura a gran altura.

A nivel de ejecución se dividió la obra en dos grandes unidades de obra.



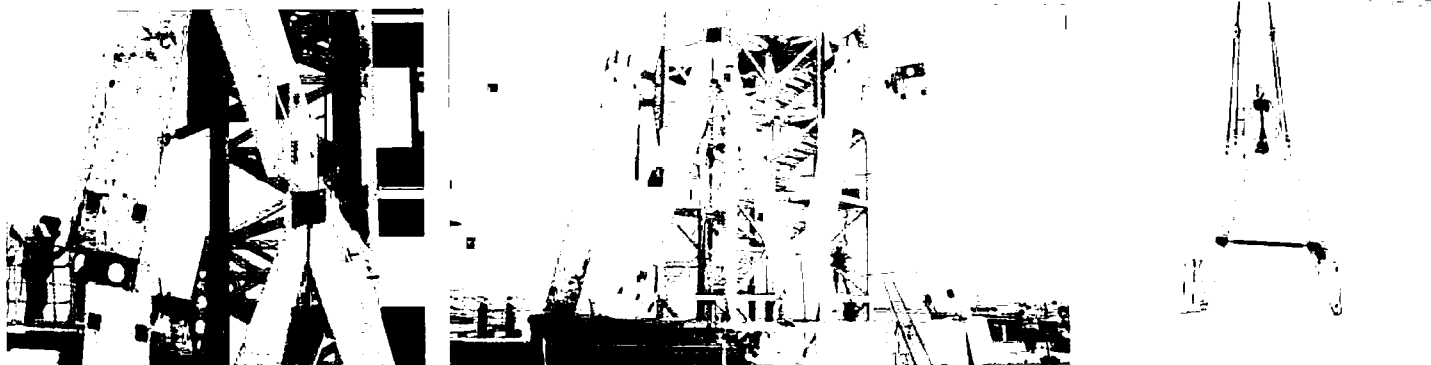


- Edificio base circular de dos plantas y sus pasarelas de unión con núcleo central.
- Eje central. Sótano, edificio central, fuste y plantas superiores.

Para lograr ejecutar la obra en el plazo exigido por *Aena* fue fundamental poder ejecutar estas dos unidades eliminando las interferencias entre ellas, es decir, previendo la instalación en obra de una gran grúa móvil que permitiera realizar el montaje del fuste prefabricado de hormigón y el izado de las plantas superiores desde una posición exterior a la superficie de terreno ocupada por el edificio base, ya que la utilización de una grúa más pequeña ubicada en la zona del edificio base habría retrasado en exceso la conclusión de la estructura de este.

Siguiendo la misma filosofía que en el caso de la estructura metálica de las plantas superiores, se premontó la estructura de aluminio en seis tramos en el suelo junto con los futuros arriostramientos provisionales necesarios para el montaje de las dovelas de hormigón prefabricado. Eso permitía adelantar trabajos y realizarlos de forma segura.

El montaje de las 80 dovelas prefabricadas de hormigón blanco, con pesos de hasta 9 Tn cada una, se planteó despiezando la malla del hiperboloide en 40 parejas en una configuración en forma de "A" debido a la estabilidad que esta configuración ofrece. Cada una de las parejas se izaba anclándolas por tres puntos (por la cabeza superior de la "A" y por 2 puntos intermedios en cada una de las patas de la "A") mediante un sistema de poleas fijado al gancho de la grúa móvil que permitía que las dovelas subieran con la inclinación definitiva a ocupar en su posición



final. Apoyando las patas de cada una de las "A" y fijando la cabeza superior de cada "A" al núcleo central de aluminio las dovelas quedaban en una posición estable que tan sólo transfería esfuerzos de flexión sobre el núcleo de aluminio. Este hecho facilitaba el control topográfico de la estructura durante su montaje, ya que era necesario montar la estructura con tolerancias inferiores a un centímetro y el núcleo estructural de aluminio se deformaba en función del estado de montaje de las dovelas que se arriostraban contra el.

Para el montaje de las dovelas superiores fue necesario crear una plataforma de trabajo sobre el núcleo de aluminio y un anillo de pasarelas que permitiera regular al centímetro el cabeceo de las dovelas superiores en el momento de cortar los firantes para transferir las cargas al anillo metálico que las acordona perimetralmente.

La operación de izado de la estructura metálica de las plantas superiores era una operación de gran exactitud pues había que encajar las 8 patas de la estructura metálica sobre las 8 cabezas de hormigón del fuste prefabricado, asegurando que quedaban centradas en los ejes para evitar la aparición de esfuerzos no deseados.

5. Seguridad y Salud

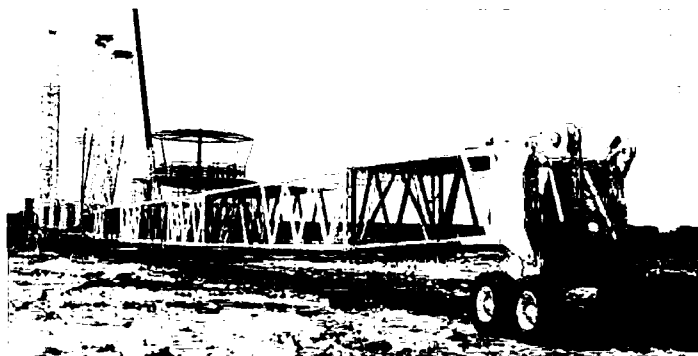
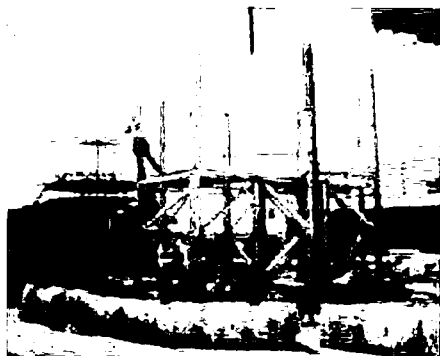
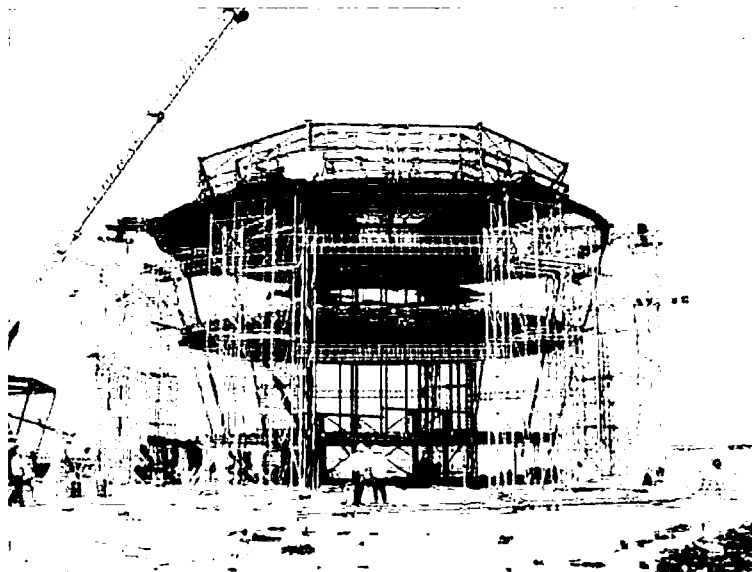
El estudio de Seguridad de esta obra obtuvo el primer premio de "Premios a la Seguridad en la Construcción

2002" concedido por la Cámara Oficial de Contratistas de Obras de Cataluña.

La ejecución de la obra se efectuó bajo la premisa de que no se produjera ningún accidente laboral, para ello se tomaron todas las medidas de protección individual y colectiva que redujeran los riesgos de accidentes hasta donde la tecnología permite.

Se detallan brevemente las principales medidas adoptadas:

Dovelas durante el montaje.



1º Fase: Montaje de primera altura de 16 dovelas

- Se montó el tramo inicial del fuste central de escaleras de aluminio, hasta alcanzar la cota superior a la coronación de las piezas a montar.
- Se instalaron barandillas de seguridad sobre mordazas especiales en toda la estructura de aluminio, así como redes horizontales tipo toldo retraíbles tensas entre perfiles, instaladas en los huecos de ascensores y patinillos, como protección ante caídas.
- Las operaciones de ensamble de piezas prefabricadas se realizaron desde plataformas sobre brazo telescópico de seguridad.

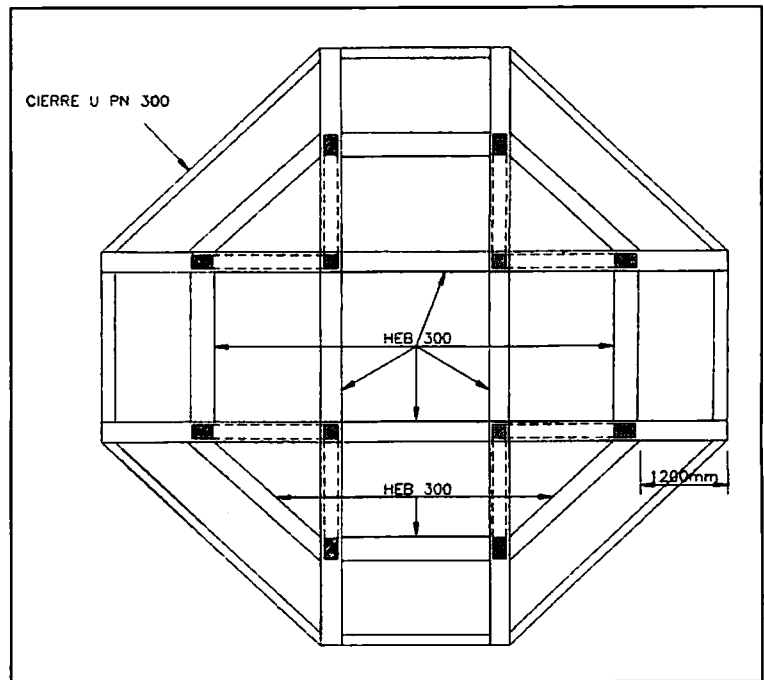
2º Fase: Montaje de las siguientes alturas de dovelas

Una de las operaciones más complejas fue el montaje del último anillo de elementos prefabricados, para lo que fue necesario construir una prolongación provisional del fuste interior hasta alcanzar la altura necesaria.

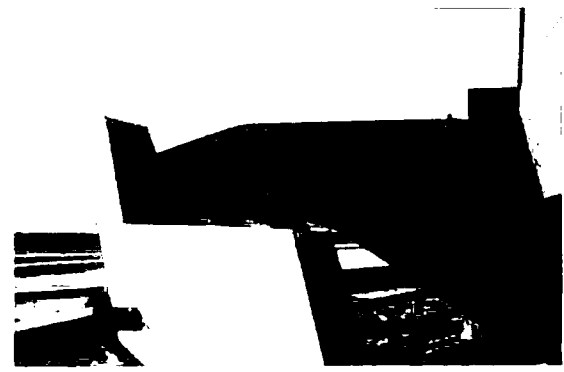
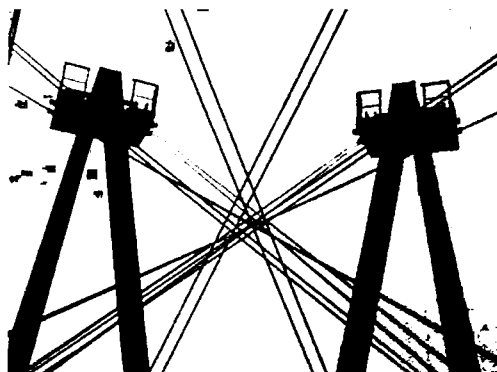
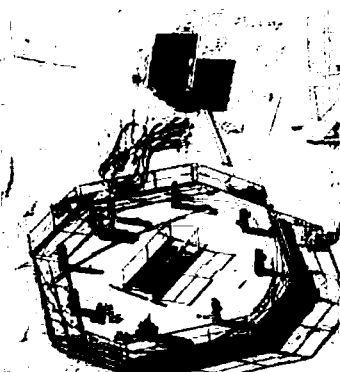
Al alcanzar dicha cota, antes de retirar los módulos superiores del fuste interior en aluminio conectado con los elementos metálicos inoxidables de replanteo y conexión, se colocó en la coronación un anillo de cierre provisional formado por perfiles metálicos.

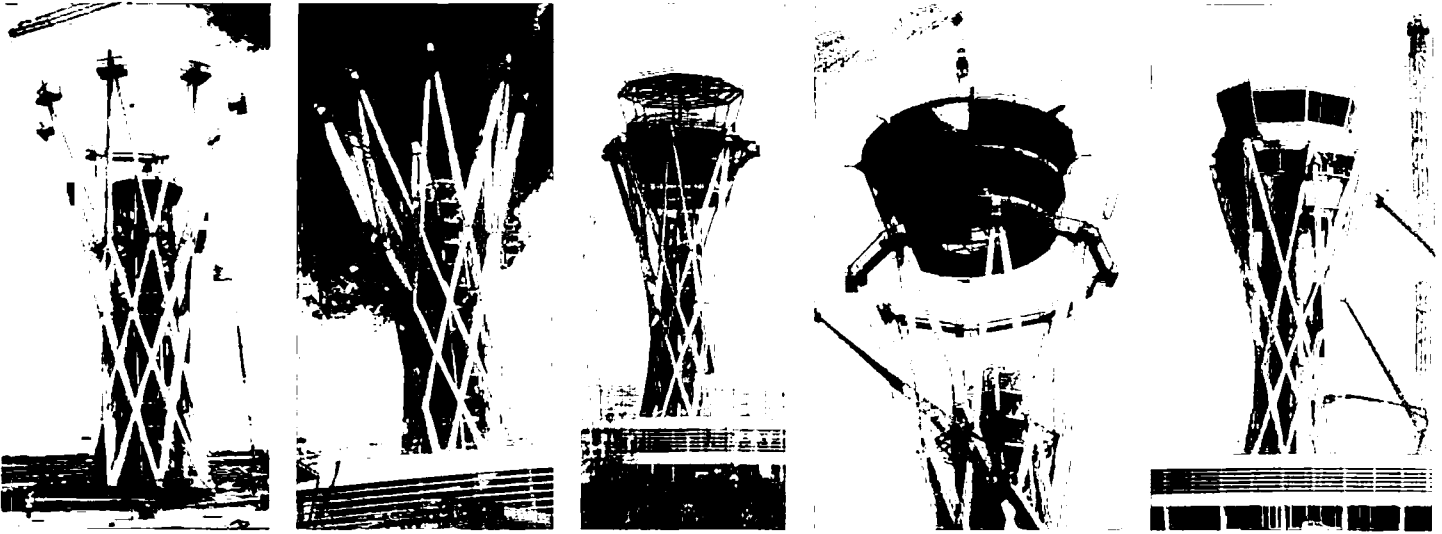
3º Fase: Realización de la estructura de las plantas superiores

- Premontaje a nivel del suelo de la estructura metálica correspondiente a las plantas de aire acondicionado, descanso y entreplanta técnica, mediante apoyo sobre apeos provisionales y plantillas. En esta tarea, intervienen las grúas, los aparejos de seguridad, los equipos de soldadura y las pasarelas auxiliares.
- Izado mediante grúa del conjunto estructural de las tres plantas, incluida las chapas plegadas de los forjados mixtos. Se trata de realizar una maniobra lenta, muy controlada cuyo procedimiento de evolución controla la seguridad. Las órdenes se dan mediante un teléfono



inalámbrico, para evitar los riesgos por desconexión o interferencia. En caso improbable de incomunicación, la orden implícita es: detener la maniobra hasta que se reanude la comunicación de control y guía.





Promotor

Aena. Plan Barcelona

Proyecto

Gop Oficina de Proyectos SA

Autores del Proyecto: José Meseguer Ruiz Dr Ing. aeronáutico y
Bruce S. Fairbanks, Arquitecto

Arquitecta colaboradora: Cristina Monllor González

Proyecto de estructura: Mauro Giuliani (Redesco SRL)

Proyecto de instalaciones: Juan Cruz Cañabate (Ghesa SA)

Especificaciones: Eduardo Montero F.dez de Bobadilla, Arq. Técnico

Presupuesto: Fernando Rodenas Moreno, Arq. Técnico

Seguridad y Salud: Sonia Ruano Bernal, Arq. Técnico

Estudios especiales

Estudio aerodinámico: IDR/UPM ETSI Aeronáuticos

Ficha Técnica Ejecución Obra

El equipo de Ferrovial participante en el proyecto:

Jefe de Obra:	César Sardans Ramón
Jefes de Producción:	Estanislao Martí Zapater José Luis Pérez Vila
Encargado General:	Antonio Puche Montes
Administrativo:	Sonia Martín Baile
Topógrafo:	Javier Sánchez
Métodos:	Jesús Canduela

- Colocación del conjunto en la coronación del fuste, apoyando las extremidades de las vigas radiales los correspondientes huecos de los nudos superiores del fuste de hormigón, previa colocación de tacos de resina epoxi de apoyo. Los tacos se han suministrado servidos sobre bateas emplintadas. Durante toda esta maniobra, además de la utilización de la protección colectivas, se ha utilizado sistemas de arnés cinturón amarrado a los puntos de seguridad idóneos para cada posición de trabajo

- Hormigonado de los forjados de chapa colaborante por equipo de bombeo en altura. Se dejaron previstos al hormigonar unas cazoleñas de PVC en el borde del forjado, que sirvieron para insertar los soportes de la barandilla tubular perimetral posterior. Esta barandilla permaneció instalada hasta que se ejecutó el cerramiento definitivo de las plantas.

- Una vez instalada la barandilla, se procedió a su revestimiento con la "malla mosquitera" blanca de señalización y ocultación de vistas exteriores.

Durante el hormigonado de los forjados de chapa colaborante, el riesgo de caída al vacío por fachadas se controló manteniendo los andamios perimetrales dotados de plataformas de trabajo y barandillas de protección. El contratista aplicó un tajo permanente de mantenimiento en perfectas condiciones de los elementos de seguridad.

- Los huecos de ascensores y patinillos se protegieron con redes tipo toldo, tensas, bordeadas con señalización de cinta a franjas de colores alternativos amarillo y negro; mientras que los huecos de paso de materiales quedaron protegidos mediante entablado de madera con bastidores de encaje e inmovilizados al propio hueco que ocuyen. ♦