

# TORRE DE RTVE EN EL POLIGONO 35 DE LA AVENIDA DE LA PAZ MADRID/ESPAÑA

504-9

## sinopsis

*El presente número de la Revista Informes ocupa su sección «Obras y proyectos», con carácter monográfico, a la recientemente terminada torre de RTVE en Madrid. En la misma se contemplan, de una manera exhaustiva, todos los aspectos que implican la construcción de una obra de características tan singulares, como son los de planteamiento general y de concepto, constructivos y estructurales en todas sus vertientes, urbanísticos y plásticos, cada uno de los cuales es desarrollado por los técnicos y especialistas que han intervenido tanto en el proyecto como en la ejecución.*

*Se proporciona una definición muy precisa de las características geométricas de la torre, aportándose datos completos referidos a la cimentación, fuste, copa o capitel y plataformas, escaleras y núcleo de ascensores, mástil para antenas, etc., con un apunte concreto de las solicitaciones mecánicas que soporta cada elemento de las bases o hipótesis de cálculo, de la organización y medios auxiliares empleados, con especial hincapié en la descripción del sistema de encofrado deslizante utilizado, así como de los aspectos de seguridad y organización de la obra.*

## ANTECEDENTES

La torre de RTVE en Madrid surge de la necesidad, recogida en el Plan de Extensión y Renovación de la Red de RTVE, de instalar un Centro Nodal de Radioenlaces en Madrid.

Hasta el momento el servicio se venía prestando con los centros de Prado del Rey y Paseo de La Habana. Las continuas edificaciones en Madrid, cada vez de mayor altura, suponen un obstáculo importante en el perfil Prado del Rey-Paseo de La Habana.

La Dirección Técnica de RTVE estudió diversas soluciones destinadas a elegir un emplazamiento que resolviese de forma definitiva los problemas inherentes a las funciones que ha de desarrollar un Centro Nodal de Radioenlaces de una Red que, como la de RTVE, dispone ya de un elevado número de circuitos y cierta complejidad en la conmutación y tráfico de señales radioeléctricas de programas de Radio y Televisión.



Simultáneamente la Dirección General de RTVE gestionó la compra de un terreno dentro del casco urbano de Madrid que pudiera servir de base para un centro informativo de RTVE en el Campeonato Mundial de Fútbol de 1982, llegándose a la adquisición del Polígono número 35 de la Avenida de la Paz (Madrid).

La Dirección Técnica de la Red se planteó la posibilidad de estudiar la instalación del Centro Nodal de Radioenlaces y Centro Emisor de Madrid en dicho polígono, mediante la construcción de una torre de aproximadamente 200 m de altura.

Desde el punto de vista de tráfico de señales radioeléctricas la erección de la torre mencionada permite disponer en el Control Central, emplazado en dicho polígono, de todas las señales de los distintos centros regionales simultáneamente, así como las de la Red de Eurovisión y del Satélite Intel.

Otra ventaja es la disponibilidad de un punto óptimo para la difusión de programas de Radio en frecuencia modulada y de televisión tanto en UHF como en VHF, con una cobertura de casi la totalidad del casco urbano de Madrid y sus alrededores.

También se ha previsto que la torre permita la conexión mediante enlaces móviles, del Control Central con posibles puntos de origen de retransmisiones (partidos de fútbol, conciertos, etc.).

De esta forma se convocó un Concurso de Proyecto y Obras de la torre, tanto de su estructura como de sus instalaciones, cerramientos y acabados necesarios para hacer posible la instalación de equipos y su funciona-



miento. También formaba parte de Concurso una galería de servicios de enlace entre la torre y el edificio del Centro de Informativos.

Este último edificio fue objeto de Concurso aparte.

El Concurso de la torre tuvo carácter internacional al presentarse al mismo conocidas firmas extranjeras en asociación temporal con importantes empresas españolas.

La adjudicación del Proyecto y de las obras fue a la agrupación de las empresas constructoras españolas Dragados y Construcciones y Agromán, en febrero de 1981.

En el desarrollo tanto del Proyecto como de la Obra se ha utilizado al máximo la tecnología nacional, con la participación exclusiva de técnicos españoles, siendo el resultado un producto totalmente autóctono.

La torre se entregó lista para instalación de equipos en febrero de 1982, realizándose por tanto el proyecto constructivo y la ejecución de la obra en el plazo récord de 12 meses. Este acontecimiento ha marcado profundamente las decisiones respecto a medios y métodos constructivos y de diseño utilizados.

#### CARACTERISTICAS DE LA TORRE

Cota  $\pm 0,00$ : equivalente a 658 m sobre el nivel del mar.

Altura sobre el terreno (Cota  $\pm 0,00$ ) = 166 m + 44,5 metros = 210,5 m.

Cota de arranque del fuste = -4,43 m.

Altura total del fuste de hormigón = 170,43 m.

Altura total del fuste sobre la zapata = 214,93 m.

Diámetro del fuste en el arranque = 12,736 m.  
Espesor de la pared en el arranque = 0,63 m.  
Diámetro del fuste en coronación = 5,865 m.  
Espesor del fuste en coronación = 0,30 m.  
Altura total de la torre sobre apoyo de cimentación = 218,43 m.

#### DATOS TECNICOS DE PROYECTO, ACCIONES Y DEFORMACIONES

##### Cimentación

###### Losa anular:

Diámetro: 29,50 m.

Altura: 3,50 m.

Peso: 9.952 Mp (+ tierras)

Carga vertical máxima: 19.350 Mp.

Carga horizontal máxima: 268,7 Mp.

Momento máximo: 26,254 Mp.

Tensión media máxima: 2,83 kp/cm<sup>2</sup>.

Tensión de borde máxima: 3,87 kp/cm<sup>2</sup>.

Giro máximo cimentación: 0,031°

##### Fuste y plataformas

###### Cargas:

Peso estructura metálica de antenas: 16 Mp.

Peso fuste de hormigón: 5.318 Mp.

Peso cesta (copa + plataformas cerradas): 1.497 Mp.

Peso plataformas abiertas: 351 Mp.

Sobrecarga cesta: 1.789 Mp.

Sobrecarga plataformas abiertas: 207 Mp.

Peso escalera y plataformas interiores: 220 Mp.

###### Viento:

Presión dinámica en toda la altura de la torre: 150 kg/m<sup>2</sup>.

Viento que recoge la antena: 14 Mp.

Viento que recoge el fuste: 195,5 Mp.

Viento que recoge la cesta: 42,6 Mp.

Viento que recogen las plataformas abiertas: 16,1 Mp.

###### Deformaciones:

Giro del fuste por viento: 0,165°.

Giro del fuste por soleamiento: 0,25° (T =  $\Delta 25^\circ$  C).

Giro de la antena por viento: 0,296°.

###### Flecha por viento:

Fin fuste: 0,402 m.

Fin antena: 1,052 m.

Flecha fin fuste por soleamiento: 0,363 m.

#### MEDICIONES BASICAS, CIMENTACION

Excavación: 9.000 m<sup>3</sup>.

Hormigón ( $f_{ck}$ : 250 kg/m<sup>2</sup>) = 2.000 m<sup>3</sup>.

Acero en redondos: 129.000 kg.

#### Fuste

Encofrado deslizante: 9.000 m<sup>2</sup>.

Hormigón (320 kg/m<sup>2</sup> normas ACI) = 2.127 m<sup>3</sup>.

Acero en redondos = 185.000 kg.

### Copa y plataformas

Hormigón en copa: 148 m<sup>3</sup>.  
 Hormigón en plataformas cerradas: 259 m<sup>3</sup>.  
 Hormigón en plataformas abiertas: 183 m<sup>3</sup>.  
 Acero en redondos en copa, y plataformas abiertas y cerradas: 66.000 kg.  
 Estructura metálica: 140.000 kg.  
 Encofrado de chapa galvanizada plegada en plataformas cerradas: 1.730 m<sup>2</sup>.

### Escalera y núcleo de ascensor

Estructura metálica: 60.000 kg.

### Mástil para antenas

Estructura metálica: 15.000 kg.

### BASES DE DISEÑO FUNCIONAL

Los requisitos funcionales básicos, marcados por los técnicos de RTVE, que debían ser recogidos en el Proyecto, son:

a) Estructura superior soporte de antenas

Para la instalación de antenas se requiere una estructura metálica de 41,5 m de altura dividida en los siguientes tramos:

- ★ Tramo de UHF de 10 m de longitud y 0,60 x 0,60 de sección.
- ★ Tramo de telefonía de 16,5 m de longitud y 1,15 x 1,15 de sección.
- ★ Tramo de FM de 15,0 m de longitud y 2,30 x 2,30 de sección.

b) Plataformas de parábolas de enlaces móviles

Las plataformas necesarias para la colocación de las parábolas de enlaces con unidades móviles o equipos provisionales son dos de 3,50 m de vuelo y una altura de 4,00 m.

c) Plataforma de parábolas de enlaces fijos.

La torre ha de servir como centro nodal de enlaces radiales entre Madrid y los repetidores que transmiten las emisiones hasta y desde la periferia de España. Para poder instalar las nueve parábolas necesarias para los enlaces previstos y otros futuros se precisan dos plataformas de 4,50 m y 5,00 m de vuelo y con una altura de 6,00 m.

COPA Y PLATAFORMAS CERRADAS	COTA	DIAMETRO EXTERIOR (∅ ext.)	VOLADIZO	SOBRECARGA
Copa	+ 113,40 m			
Plataforma de otros servicios	+ 118,40 m	17,055 m	5,0 m	1.000 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma de equipos auxiliares	+ 122,00 m	23,965 m	8,5 m	1.000 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma de enlaces fijos	+ 125,60 m	28,875 m	11,0 m	1.500 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma de enlaces móviles	+ 130,80 m	28,875 m	11,0 m	1.000 kg/m <sup>2</sup>

PLATAFORMAS ABIERTAS	COTA	DIAMETRO EXTERIOR (∅ ext.)	VOLADIZO	SOBRECARGA
Mansarda	+ 135,60 m	19,250 m	6,2 m	200 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma parábolas fijas	+ 140,60 m	16,500 m	5,0 m	600 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma parábolas fijas	+ 146,60 m	15,350 m	4,5 m	600 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma parábolas móviles	+ 152,60 m	13,200 m	3,5 m	400 kg/m <sup>2</sup>
Plataforma parábolas móviles	+ 156,60 m	13,100 m	3,5 m	400 kg/m <sup>2</sup>

## d) Plataforma de equipos de enlaces de retransmisiones

Se necesita para estos equipos una plataforma cerrada con una cubierta de poliéster reforzado con fibra de vidrio y climatizada, con vuelo cubierto de 9,00 m y una altura de 4,80 m. Esta planta requiere la instalación de un suelo técnico de 0,40 m de altura para poder llevar el cableado necesario a los equipos y a los sistemas de refrigeración.

## e) Plataforma de equipos transmisores

En esta plataforma se requiere un vuelo de 11,00 m y debe ser cerrada y climatizada necesitando una altura de 5,20 m y la instalación de un suelo técnico como en la plataforma anterior.

## f) Plataforma de equipos auxiliares

Esta plataforma se necesita para la instalación de los equipos de climatización de las plantas anteriores y de refrigeración de los equipos, así como de baterías, almacén, aseos, etc. Se requiere un vuelo de 8,50 m y una altura de 3,60 m y tiene que ir cerrada pero con rejillas de ventilación para los climatizadores.

## g) Plataforma de otros servicios

Para una posible ampliación futura se necesita una planta de 5,50 m de vuelo y 3,60 m de altura cerrada y teniendo en la parte exterior una pasarela metálica de 2,00 m de anchura para la posible instalación de antenas y parábolas provisionales.

## h) Fuste

En el fuste se necesita una serie de orificios a distintas alturas para poder en un futuro instalar antenas y parábolas para servicios auxiliares de telecomunicación. También se requiere instalar, en el interior, tres estructuras metálicas en forma de escalera vertical de 2,00 m de anchura, para poder sujetar los diferentes cables de alimentación eléctrica de conexión de señales entre los equipos, las antenas y el edificio situado junto a la torre.

## i) Accesos

Para el acceso a las distintas plataformas de la torre se necesitan un ascensor de 1.000 kg de carga útil y una escalera en el interior del fuste que permita el acceso en caso de avería del ascensor y la colocación y mantenimiento de los cables en las estructuras verticales.

## BASES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural la torre se compone de cinco elementos básicos:

- a) Antena
- b) Plataformas para parábolas
- c) Plataformas para equipos
- d) Fuste
- e) Cimentación

Describimos las soluciones estructurales adoptadas para cada elemento en la torre de RTVE de Madrid.

## Antena

La antena es una estructura metálica a base de perfiles angulares. El tipo de celosía de las caras adoptado es el más adecuado para recibir los elementos radiantes que soportará la antena.

Esta estructura metálica tiene cuatro tramos diferenciados.

El tramo superior de sección cuadrada, de 0,60 m de lado y 10 m de longitud, está formado por cuatro ángulos en sus esquinas empresillados mediante pletinas metálicas soldadas. Este tramo superior se fraccionó en tres partes iguales para facilitar el montaje.

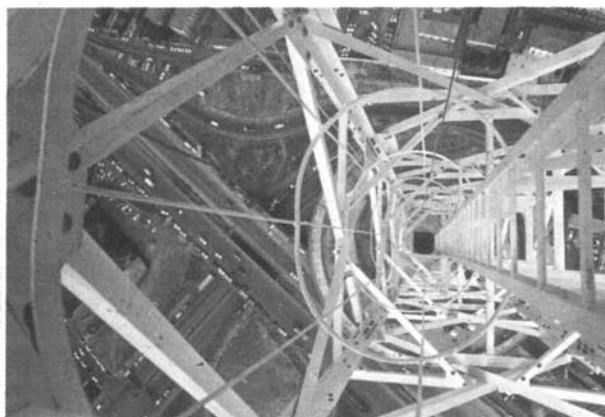
Inmediatamente debajo se dispone un elemento de transición troncopiramidal de 1,50 m de altura que enlaza este tramo con el intermedio de 15,0 m de altura y sección transversal cuadrada de 1,50 m de lado. A continuación existe un nuevo elemento de transición, también de 1,50 m de alto, troncopiramidal, con bases cuadradas de 1,15 m y 2,30 m. El tramo inferior de 13,5 m de alto y sección transversal cuadrada de 2,30 m de lado, termina en su parte inferior en un tramo de ensanche de 3,0 m de altura, constituido por las cuatro patas de apoyo de la estructura. Estando éstas en una circunferencia del mismo diámetro que el de coronación del fuste de hormigón.

Salvo el tramo superior, todos los demás llevan uniones atornilladas, para facilitar el montaje.

Los perfiles laminados de la estructura son de acero de calidad A 42 b y se adoptó una tensión admisible de 1.600 kg/cm<sup>2</sup>.

La tornillería es de calidad 5,6 y se tomó como tensión cortante admisible 1445 kg/cm<sup>2</sup>. La presión de los tornillos contra paredes se limitó a la tensión de fluencia de las barras, es decir, 2.600 kg/cm<sup>2</sup>. Todos los tornillos llevan arandela plana y «grover».

Toda la estructura se ha galvanizado en caliente con un espesor mínimo de zinc de 150 micras. Posteriormente a su montaje se dio la mano definitiva de pintura en franjas alternadas rojas y blancas como balizamiento diurno.



Las hipótesis consideradas han sido:

- Peso propio de la estructura metálica.
- Peso propio de los elementos radiantes que soporta la estructura.
- Acción del viento con una carga dinámica de 150 kg/m<sup>2</sup> sobre estructura y elementos radiantes. Se ha considerado que parte de la estructura está protegida de la acción del viento por las antenas y radomos.

Las cargas totales de viento consideradas han sido:

- Sobre el tramo superior de 0,60 m de lado: 180 kg/m
- Sobre el tramo intermedio de 1,15 m de lado: 288 kg/m
- Sobre el tramo inferior de 2,30 m de lado: 482 kg/m

La obtención de esfuerzos en las barras se ha realizado con auxilio de un ordenador.

Los esfuerzos más desfavorables para los montajes, los correspondientes al viento diagonal, añadiendo la parte correspondiente del peso de la barra para las cargas de compresión y restando éste para las de tracción.

Para las diagonales y péndolas horizontales es más desfavorable el viento perpendicular a una cara.

El cálculo de las barras sometidas a compresión se realizó por el método w.

Las barras sometidas a tracción se han calculado considerando la sección neta, que es la total de la barra menos la sección perdida por los taladros.

Finalmente se comprobó que la deformación angular máxima de la estructura, sumada a la del fuste de hormigón de la torre, no superaba el valor dado como admisible de 0,3 grados sexagesimales.

### Plataformas para las parábolas

En la torre se disponen dos tipos de parábolas, las destinadas a enlaces fijos y las que sirven a enlaces móviles.

Para las segundas se construyen dos plataformas a las cotas +156,60 y +152,60 m.

Son losas anulares macizas con un vuelo a partir del fuste de 3,50 m.

Están previstas para una sobrecarga móvil de 400 kg/m<sup>2</sup>.

En su perímetro se dispone una barandilla de acero galvanizado.

La solución más adecuada por el escaso vuelo de las losas es la de conexión empotrada al fuste. Este se refuerza en la zona de empotramiento para absorber los momentos adicionales que no son de gran magnitud. Las losas tienen un perfil transversal acartelado con un espesor mínimo en el extremo del voladizo de 15 cm y máximo en la zona de contacto con el fuste de 45 cm.

La armadura principal de la losa es lógicamente la ra-



dial y su determinación se ha realizado conforme a la «Instrucción EH-80», empleándose un hormigón H-250 y acero AE-42.

Con el fin de no interrumpir el deslizamiento del fuste, la conexión de las losas al fuste se ha realizado mediante anclajes especiales. Durante el deslizamiento se dejaron en la pared del fuste, a las cotas correspondientes a las plataformas, 88 anclajes roscados para recibir barras tipo Dywidag de  $\varnothing 25$  en cada una de las plataformas para parábolas móviles.

Posteriormente al ejecutar las losas se roscaban las barras a los manguitos con las correspondientes tuercas de seguridad, y esta armadura, solapada con la de la losa, constituye la armadura de empotramiento de las mismas.

Para las parábolas fijas se han previsto también dos plataformas situadas a las cotas +146,60 y +140,60 m con 4,5 m de vuelo la primera y 5 m la segunda.

Estas plataformas son también losas anulares macizas. Soportan una sobrecarga móvil de 600 kg/m<sup>2</sup>.

En estas losas se han dejado 10 orificios rectangulares para el paso de los cables de alimentación de las parábolas.

Aunque el vuelo es mayor que el de las plataformas para enlaces móviles se ha adoptado la misma solución estructural, mediante empotramiento de las losas en el fuste. En este caso los momentos radiales son de mayor consideración y se ha tenido la necesidad de aumentar el espesor de la pared del fuste para con el necesario refuerzo de armaduras absorber los momentos de empotramiento.

Estas losas tienen un perfil transversal acartelado con un espesor mínimo en el extremo del voladizo de 17 cm y máximo en la zona de contacto con el fuste de 60 cm.

El método de dimensionado y cálculo así como la conexión de armaduras del fuste es idéntico al de las plataformas de parábolas de enlaces móviles.

El número de anclajes roscados para recibir barras de tipo Dywidag ha sido de 98 para la losa de 4,5 m de vuelo y de 125 para la de 5 m de vuelo.

Al ser las parábolas un elemento de enlace con otras situadas a decenas de kilómetros, se limitaron los án-

gulos de flexión y torsión a un valor máximo de 0,3 grados sexagesimales. Esta limitación ha supuesto un factor importante a la hora de dimensionar las losas y su conexión al fuste.

En la evaluación de estos giros se consideran: el giro de la cimentación, los del fuste a las cotas correspondientes y los de las plataformas sólo por efecto de las sobrecargas.

### Plataformas para equipos

Desde el punto de vista estructural hay dos elementos perfectamente diferenciados y que se han denominado como:

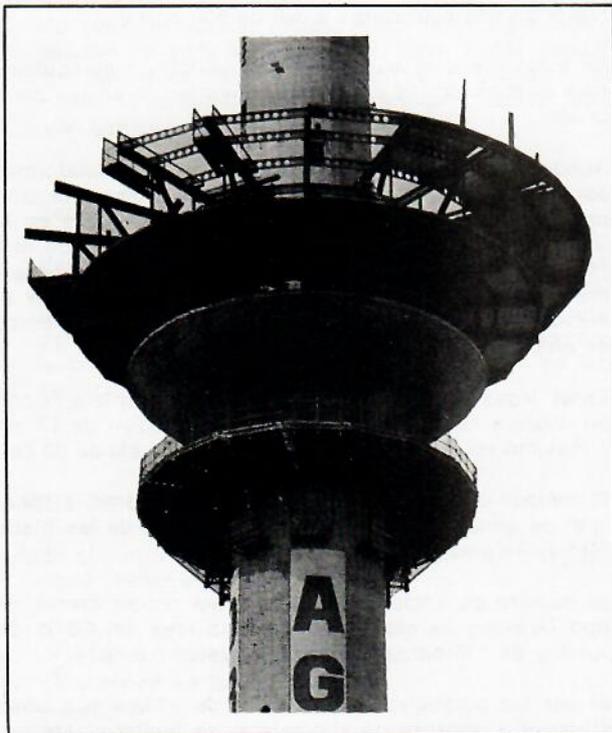
- Copa de hormigón.
- Cesta.

La «copa de hormigón» es el elemento estructural que recoge todas las cargas muertas y sobrecargas de la cesta para transmitir las al fuste de hormigón.

Los dieciocho pilares metálicos HEB 220 de la planta de «otros servicios» transmiten sus elevadas cargas a la copa, a la cota +118,40 m en una circunferencia de 8,73 m de radio.

Estas cargas puntuales se descomponen en unas horizontales y otras que siguen el paramento inclinado de la copa.

Las primeras se absorben mediante un anillo de tracción de 0,70 m de canto y 0,50 m de ancho, situado en el extremo superior del voladizo de la copa, inmediatamente debajo de los pilares de la planta de «otros servicios».



Las segundas se canalizan por el citado paramento inclinado de la copa de 25 cm de espesor, transformándose al llegar al extremo inferior de la copa, adosado al fuste, en unas cargas lineales horizontales de compresión y en otras lineales verticales.

Las cargas horizontales se recogen en un anillo de compresión a la cota +113,40 m, que forma parte de la copa, de 40 x 50 cm.

Las cargas verticales se transmiten al fuste en un ensanchamiento anular del mismo de 23 cm de espesor situado en la cota +113,40.

Las pequeñas cargas de viento que le proporcionan los pilares de la planta de «otros servicios» y las que recoge la copa misma se transmiten al fuste a las cotas +113,40 y +118,40 m.

Este elemento estructural, importantísimo en el concepto estructural del conjunto de la torre se pensó para esta torre con los condicionantes de escaso tiempo y medios de deslizamiento del fuste de que se disponía. La solución finalmente adoptada es totalmente original y no usada en las torres que nosotros conocemos.

La «cesta» consiste en una estructura metálica apoyada en la copa de hormigón a la cota +118,40 y enlazada al fuste al que transmite las cargas de viento a las cotas +122,00, +125,60 y +130,80.

La estructura metálica, con dieciocho pórticos. Cada pórtico tiene tres vigas.

- Una IPE 450 a la cota + 130,80, de 11,00 m de longitud, apoyada en el fuste mediante placa metálica y en un pilar HEB-180 a 8,4 m del fuste.
- Una HEB-450 a la cota + 125,60 de 11 m de longitud apoyada en el fuste mediante placa metálica, en un pilar HEB-120 a 5,20 m del fuste y en un pilar (PN-120 a 8,40 m del fuste).
- La tercera viga es una HEB-280 a la cota + 122,00, de 8,5 m de longitud apoyada en el fuste mediante placa metálica y en un pilar HEB-220 a 5,2 m del fuste.

Se dispone de una diagonal de HEB-24 entre las cotas +125,60 a 8,4 m del fuste y +122,00 a 5,2 m del fuste.

Mediante esta estructura se transmite una pequeña parte de las cargas verticales y casi la totalidad de las cargas de viento al fuste mediante las placas de apoyo de las vigas ancladas en el fuste. El grueso de las cargas verticales, como ya se ha dicho, se canalizan al fuste a través de la copa.

Los dieciocho pórticos se enlazan en las tres plantas mediante vigas metálicas formando polígonos de 18 lados, cinco en cada una de las plantas a las cotas +130,80 y +125,60 y cuatro en la planta a +122,00.

Los forjados de estas plantas, por facilidad y rapidez de ejecución, se han diseñado con encofrado resistente de chapa laminada plegada, con unas armaduras de negativos, un mallazo de armaduras y losa de hormigón de 16 centímetros de canto.

La zona anular comprendida entre el fuste y la primera poligonal con una anchura de 1,05 m se deja sin forjar



en las tres plantas. Así se dispone de una zona de paso de canalizaciones de cables y aire acondicionado.

Se tiene así una estructura metálica tradicional a base de perfiles de alma llena en acero A-42 b que se proyectó con arreglo a la Norma MV-103 «Cálculo de estructuras de acero laminado en edificación».

El hormigón es H-250 y las armaduras son de acero AE-46.

La cubierta de este edificio la constituye lo que se ha denominado «mansarda». No es sino una losa anular maciza, empotrada en el fuste, con un voladizo de 6,20 metros.

Dispone al igual que las plataformas de parábolas fijas de 10 orificios para paso de cables, convenientemente sellados para evitar la entrada del agua. Esta cubierta lleva una doble capa impermeabilizante.

La losa anular se sitúa a la cota + 135,60 y se ha previsto que sea visitable sólo para conservación. La sobrecarga de cálculo ha sido de 200 kg/m<sup>2</sup>.

Su dimensionamiento, cálculo y conexión de armaduras al fuste es igual que en las demás plataformas.

Tiene 125 anclajes roscados para barras Dywidag  $\varnothing$  25 y, en su cálculo, lógicamente no se ha considerado la limitación angular impuesta en las otras losas.

Los forjados de las plantas se han calculado para distintas sobrecargas:

Forjado de planta a + 118,40 m	1.000 kg/m <sup>2</sup> .
Forjado de planta a + 122,00 m	1.000 kg/m <sup>2</sup> .
Forjado de planta a + 125,60 m	1.500 kg/m <sup>2</sup> .
Forjado de planta a + 130,80 m	1.000 kg/m <sup>2</sup> .

### Fuste

Es el elemento estructural que, en forma de una esbelta columna, recibe todas las cargas del mástil metálico y las plataformas abiertas y cerradas. Estas, junto con las del propio fuste, se ceden al terreno a través de la cimentación.

Arranca a la cota -4,43 m de la cimentación en la que se empotra, con un diámetro exterior de 12,736 m y un espesor de pared de 63 cm. Este espesor de pared se mantiene constante hasta la cota  $\pm$  0,00 en la que el fuste troncocónico tiene un diámetro exterior de 12,515 metros.

La reducción del diámetro es lineal, con una pendiente del 5 % hasta la cota +97,50 m donde el diámetro exterior alcanza el valor de 7,64 m. Igual sucede con el espesor de la pared que varía linealmente alcanzando un valor de 42,2 cm en la cota +97,50 m.

Desde dicha cota hasta la +113,40 m el diámetro exterior se mantiene constante, con lo que exteriormente se configura entre dichas cotas un cilindro de diámetro exterior 7,64 m.

El espesor de pared, en cambio, va aumentando linealmente entre dichas cotas, y en la cota + 113,40 m el espesor de pared es de 59 cm.

Es en la cota +113,40 donde mediante una delicada operación con el encofrado deslizante se consigue crear la zona de apoyo de la «copa de hormigón». Inmediatamente encima de esta cota el diámetro exterior es de 7,18 m y el espesor de pared de 36 cm con lo que tenemos una zona anular de apoyo de 23 cm de ancho por el exterior del fuste.

A partir de la cota +113,40 m el diámetro exterior se reduce nuevamente en forma lineal, con una pendiente del 2,5 % hasta la coronación del fuste a la cota +166,00. En esta cota el diámetro exterior del fuste es de 5,865 m.

El espesor de pared se mantiene constante de 36 cm hasta la cota +146,60. Entre dicha cota y la +152,60 se reduce linealmente el espesor del fuste hasta el valor de 30 cm, valor que se mantiene constante hasta coronación.

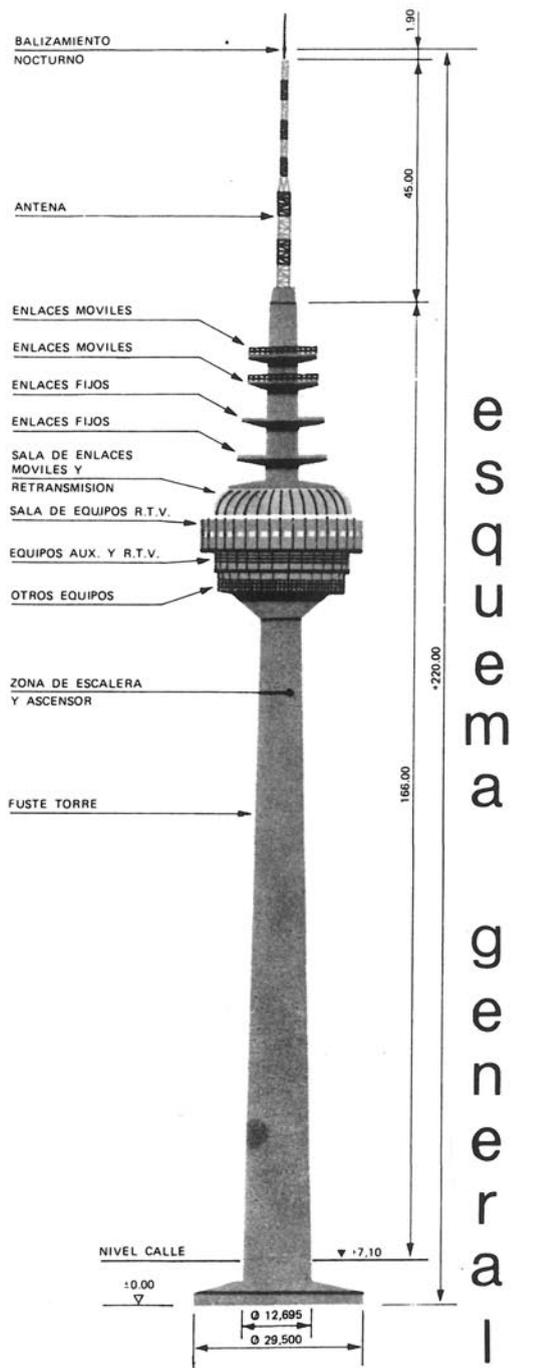
En coronación del fuste se dispone de una viga anular y placa circular de cierre, donde se anclan las patas del mástil metálico que constituye la antena de 44,5 m.

El fuste de hormigón tiene a distintas alturas aberturas para acceso al interior del mismo y para paso de cables.

Estas aberturas suponen un condicionante importante a la hora de dimensionar el fuste y lógicamente están ya previstas por las necesidades funcionales de la torre.

Así para acceso se han dejado las siguientes aberturas, citadas por la cota de su umbral:

- A cota -4,33 una abertura de 3,00 x 3,00 m para acceso desde la galería de servicios.
- A cota  $\pm$  0,00 una abertura de 3,20 m x 1,50 m de ancho para acceso a nivel de calle.
- A cotas + 118,40 y + 122,00 dos aberturas de 2,20 metros x 1,40 m de ancho para acceso a las plantas de «Otros servicios» y de «equipos auxiliares».
- A cota + 125,60 una abertura de 3,10 m x 1,40 m de ancho para acceso a la «sala de equipos».
- A cota + 130,80 m una abertura de 2,60 m x 1,40 m de ancho para acceso a la «sala de enlaces móviles».



# e s q u e m a g e n e r a l

- A las cotas + 136,00, + 141,00, + 147,00, + 153,00 y + 157,00 cinco aberturas de 2,55 m x 1,10 m de ancho para acceso a las cuatro plataformas de parábolas y a la mansarda.

Para paso de cables del interior del fuste a plataformas y viceversa se han dejado orificios en todas las plantas, cuatro por planta y distintas dimensiones.

El fuste de hormigón se ha dimensionado siguiendo la teoría de tensiones admisibles que preconiza la norma americana ACI-307-79.

Las acciones consideradas han sido:

- Peso propio y carga permanente del fuste.

- Peso propio y sobrecargas de la antena metálica sobre coronación del fuste.
- Peso propio, cargas permanentes y sobrecargas de todas las plataformas tanto abiertas como cerradas.
- Parte del peso propio, cargas permanentes y sobrecargas del núcleo de ascensor y escaleras, que no va directamente a la cimentación.
- Carga de nieve de 80 kg/m<sup>2</sup> en todas las plataformas abiertas y en la cubierta de las cerradas.
- Acción del viento con una presión dinámica en toda la altura de la torre de 150 kg/m<sup>2</sup>. Considerándose un factor eólico para las parábolas de 2 y para las superficies cilíndricas del fuste de 0,7.

El factor de esbeltez considerado para el fuste ha sido de 1,29.

Se ha tenido en cuenta el efecto del viento sobre la sección transversal del fuste «ovalización» considerando la distribución horizontal del viento recomendada en las normas internacionales como del CICIND.

Se estudió la influencia de los torbellinos de Von Karman, en las oscilaciones de la torre, en el sentido transversal a la dirección del viento.

La acción sísmica, a pesar de que Madrid es zona de baja intensidad sísmica, se contempló conforme a la Norma Sismorresistente PDS-1 Parte A-Normativa, contemplándose la superposición de los tres primeros modos fundamentales de oscilación. Además se calcularon los momentos sísmicos por el método recomendado por la norma ACI-307-79 considerando como factor de zona  $z = 0,25$  y un factor de uso  $U = 2,00$ .

Las hipótesis de cálculo han sido:

- 1) Hipótesis Normal:  
Presión dinámica del viento de 150 kg/m<sup>2</sup>. Valor característico.  
Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Valor característico.
- 2) Hipótesis Extrema:  
Presión dinámica del viento de 1,75 x 150 kg/m<sup>2</sup>. Valor característico.  
Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Valor característico.
- 3) Hipótesis Sísmica:  
Acción sísmica. Valor característico.  
Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Valor característico.
- 4) Hipótesis de Construcción:  
Presión dinámica del viento de 150 kp/cm<sup>2</sup>. Valor característico.  
Cargas permanentes. Valor característico.

En cada una de estas hipótesis se ha determinado para cada sección considerada (un total de veintidós secciones) la tensión en el hormigón y la tensión en el acero, limitándose dichos valores a los dados como admisibles por la norma ACI-307-79 para un hormigón de una resistencia especificada de 320 kg/cm<sup>2</sup> y un acero de límite elástico 4.200 kg/cm<sup>2</sup> y que son:

## 1) Hipótesis Normal:

Tensión admisible en el hormigón: 80 kp/cm<sup>2</sup>.  
Tensión admisible en el acero: 1060 kp/cm<sup>2</sup>.

## 2) Hipótesis Extrema:

Tensión admisible en el hormigón: 144 kp/cm<sup>2</sup>.  
Tensión admisible en el acero: 2400 kp/cm<sup>2</sup>.

## 3) Hipótesis Sísmica:

Tensión admisible en el hormigón: 120 kp/cm<sup>2</sup>.  
Tensión admisible en el acero: 1270 kp/cm<sup>2</sup>.

## 4) Hipótesis de Construcción:

Tensión admisible en el hormigón: 96 kp/cm<sup>2</sup>.  
Tensión admisible en el acero: 1800 kp/cm<sup>2</sup>.

Para la determinación de las máximas deformaciones del fuste se han tenido en cuenta el efecto de inclinación de la cimentación con un valor máximo calculado de 0,031 grados sexagesimales, y el giro producido por efecto de soleamiento estimado en 0,25 grados sexagesimales para una diferencia de temperaturas entre las caras expuestas al sol y la opuesta de 25 °C.

En las zonas de aberturas y de conexión de plataformas y placas de anclajes se ha estudiado el efecto local que dichas perturbaciones producían, introduciendo los oportunos refuerzos locales de armaduras en el fuste.

## Cimentación

Siguiendo las recomendaciones del estudio geotécnico, se decidió por la solución de losa circular maciza.

La parte inferior de esta losa tiene un diámetro de 29,50 metros con un canto de 2 metros. La parte superior es un tronco de cono de 16,5 m de diámetro en su cota más alta y una altura de 1,50 m.

En el centro de la losa se efectuó un vaciado de 2 x 2 m y 1 m de profundidad como foso del ascensor.

La losa asienta sobre una capa de regularización de hormigón H-150 de 15 cm de espesor.

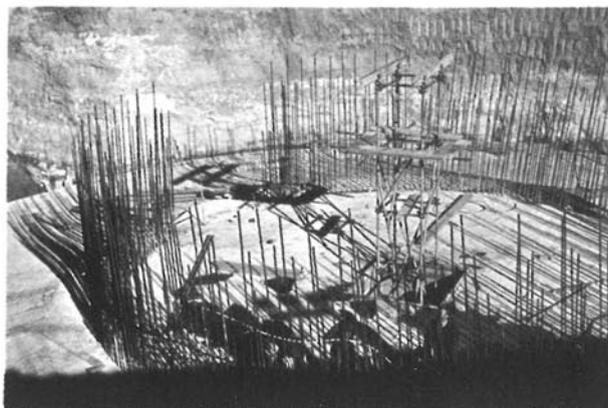
El encofrado perdido se efectuó con pared circular de bloques de hormigón.

La zona de contacto terreno-losa se inyectó posteriormente con lechada de cemento para evitar filtraciones de agua superficiales a capas más profundas donde se detectaron unas arcillas ligeramente expansivas.

La cimentación se ha calculado en cuanto a sus dimensiones de forma que no aparezcan zonas inactivas en ninguna de las hipótesis consideradas.

La máxima presión que se transmite al terreno en la hipótesis normal es de 3,80 kp/cm<sup>2</sup>. También en esta hipótesis el coeficiente de seguridad al vuelco es de 11,3.

El hormigón de la losa de cimentación es H-250 y la armadura AE-42.



El módulo de deformación del terreno es de  $E_s = 1.000$  kp/cm<sup>2</sup>.

El cálculo de armaduras se ha realizado según la teoría de G. Markus.

## ACABADOS E INSTALACIONES

### Antena

Como ya se ha comentado es una estructura metálica galvanizada con pintura blanca y roja para balizamiento.

Dispone en su interior de una escalera de patas con aros protectores para acceso a la zona superior de la antena. Adosados a dicha escalera se disponen los soportes para los cables que alimentan los elementos emisores propiamente dichos.

### Plataformas para parábolas

Su acabado se ha realizado en hormigón visto.

En las dos plataformas superiores se ha instalado una barandilla metálica galvanizada y bancadas metálicas para soporte de parábolas.

Las dos plataformas inferiores llevan un tubo de seguridad adosado al fuste y dos carriles metálicos donde anclar las parábolas. Todos estos elementos galvanizados.

### Cesta

En ella se distinguen cuatro niveles:

#### Nivel 1.—Planta destinada a «otros servicios».

Su suelo a la cota +118,40 es a la vez la losa de cierre de la copa, de 20 cm de espesor, y sobre él se coloca una capa de suelo industrial de hormigón con cuarzo. El cerramiento de esta planta se ha realizado a base de paneles curvos prefabricados de GRC (glass reinforced concrete).

Desde esta planta se accede a una pasarela exterior, de perfiles metálicos galvanizados y pintados, prevista para una sobrecarga de 1.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**Nivel 2.—Sala de «equipos auxiliares de RTVE»**

El suelo es de tipo industrial de hormigón con cuarzo. El cerramiento es a base de paneles rectos prefabricados de acero «corten» por el exterior, aislamiento térmico acústico intermedio y panel de madera por el interior.

A 1,5 m del suelo se disponen en el cerramiento unas rejillas de aluminio desmontables por las que toman aire los equipos de acondicionamiento.

En esta planta se aloja la maquinaria para el aire acondicionado. Dispone de un aseo y de dos estancias para baterías y acumuladores respectivamente.

**Nivel 3.—Sala de «equipos de RTVE»**

Dispone de un suelo elevado de losas desmontables sobre crucetas, en cuyo interior se alojan los cables que alimentan los equipos.

También se ha instalado un falso techo a 3,24 metros sobre el suelo.

El cerramiento es de paneles rectos prefabricados de acero «corten» por el exterior, aislamiento térmico acústico intermedio y panel de madera por el interior.

En el cerramiento se disponen 36 ventanas practicables de aluminio con doble acristalamiento, cámara y persiana intermedia.

La zona sin forjar adosada al fuste se cubre frontalmente con paneles de madera del mismo tipo que los del cerramiento exterior.

**Nivel 4.—Sala de «enlaces móviles»**

El suelo es del tipo elevado y desmontable como el del nivel 3, y también lleva falso techo.

El cerramiento de esta planta es una superficie tórica a base de piezas de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Estas piezas van sujetas en su parte superior a un perfil anclado en el paramento inferior de la mansarda y en la parte inferior apoyan en un murete de fábrica sobre el suelo a cota + 130,80.

**Fuste**

El acabado exterior e interior del fuste es el del «hormigón visto» tal como sale de las chapas metálicas del encofrado.

En el interior del fuste se aloja una estructura metálica de sección cuadrada de 2,20 x 2,20 m con caras en celosía y cerramiento de chapa plegada de acero, en cuyo interior está el ascensor.

Alrededor del núcleo de ascensor asciende una escalera de zancas metálicas, que se apoyan en ménsulas también metálicas, que salen de los pilares del núcleo del ascensor.

La escalera de 0,90 m de anchura arranca de la cota -4,43 m y llega hasta la sala de maquinaria del ascensor situada a la cota + 162,00.

La estructura del núcleo de ascensor y escalera se arriostra al fuste en todas las plantas de plataformas y en las alturas + 32,00 + 59,00 y + 86,00.

La barandilla es de tubo y los peldaños de rejilla galvanizada.

Todos los elementos metálicos de la escalera y núcleo del ascensor fueron debidamente pintados.

Adosadas a la escalera y por el exterior de la misma se han dispuesto tres escalerillas a base de perfiles metálicos para soporte de los cables de instalaciones propias y de RTVE.

Entre las plantas a  $\pm 0,00$  y -4,43 se han situado los recintos para un centro de transformación.

**Aire acondicionado**

La instalación de aire acondicionado da servicios a las salas de «equipos de RTVE» y de «enlaces móviles».

Se compone de dos plantas frigoríficas de 126.000 frigorías/hora cada una y cinco climatizadores multizona. El calor se consigue con resistencias en los climatizadores y con fan-coils.

Los conductores para impulsión y retorno son de chapa metálica galvanizada con aislamiento.

Los supuestos de cálculo considerados han sido:

**Condiciones interiores:**

*Verano:* 24 °C y 50 % H. R.

*Invierno:* 22 °C y 55 % H. R.

**Condiciones exteriores:**

34 °C y 43 % H. R.

-30 °C y 90 % H. R.

**Electricidad**

El transporte de energía eléctrica, hasta pie de torre, se realiza a una tensión de 15 kV. En el sótano de la torre existe un centro de transformación con una potencia de 800 kVA, para fuerza y 100 kVA para alumbrado. Las líneas generales van alojadas en un soporte vertical en escalera, por el interior del fuste. Existen varios circuitos independientes específicos: para fuerza técnica de equipos, fuerza de usos varios y alumbrado. También está prevista la entrada automática de emergencia. Existen conducciones para telefonía e interfonía. Se ha previsto una compleja red de tierras: para protección contra descargas atmosféricas, baja tensión, equipos electrónicos de RTVE, el centro de transformación según el «Reglamento electrotécnico de alta y baja tensión».

Se ha previsto un balizamiento en cuatro niveles con cuatro grupos de balizas dobles por cada nivel.

## Ascensor

Sus características son: dos velocidades, una de arranque y parada de 0,25 m/s y la de subida de 1,00 m. Carga útil 1.000 kg. Lleva 10 paradas de emergencia, además de las paradas normales correspondientes a las plantas.

## Detección y extinción de incendios

En todas las plataformas cerradas existen detectores iónicos y ópticos. Cada uno cubre un área de 60 m<sup>2</sup>. La extinción se ha previsto mediante halón (18 botellas) así como 30 extintores hídricos y de CO<sub>2</sub>. Existe además una columna seca, con bocas siamesas cada 10 m desde la cota +0,20 hasta la +135,60 con una sección de 3".

## Saneamiento y fontanería

Existen dos bajantes generales de PVC de  $\varnothing$  125 mm adosadas al fuste, para fecales y pluviales, que desaguan en arquetas a pie de torre. Se han previsto dos servicios, además de la recogida de pluviales en las plataformas abiertas. Para evitar el chorreo de agua manchada con óxido, en las fachadas de acero «corten», se han previsto unos canalones especiales, que llevan el agua de lluvia hasta la bajante de pluviales. Está previsto un grupo de presión, situado a la cota +5,50, con un caudal de 6 m<sup>3</sup>/hora y una altura manométrica de 150 m.

## Galerías de servicios

Dicha galería de hormigón armado enlaza el Edificio de Informativos con la Torre. Tiene sección cuadrada de 3 x 3 m interiores, va enterrada y posee una longitud de 165. Esta galería alojará las conducciones eléctricas, telefonía, fibra óptica para transmisión de señales, etc.

## Urbanización y viales

Se ha previsto una acera perimetral alrededor de la torre a la cota  $\pm$  0,00, así como las arquetas y tubería de saneamiento que enlazan al colector general.

## CONSTRUCCION DE LA TORRE DE RTVE. ORGANIZACION GENERAL DE LAS OBRAS

La filosofía de la construcción de la torre de RTVE estaba basada en dos principios básicos: deslizamiento de todo el fuste de hormigón de una sola vez y construcción in situ de la copa de hormigón armado como elemento sobre el que debía apoyarse toda la ejecución del resto de la obra: plataformas cerradas y edificación, plataformas abiertas, etc.

Al ser el fuste troncocónico, se había desechado como posibilidad el prefabricado de la copa de hormigón en el suelo, de una sola vez, y su posterior elevación mediante gatos hidráulicos hasta su posición definitiva (370 t de peso).

Igualmente, se desechó la posibilidad de subir el encofrado entero para la construcción de la copa in situ, colgado del encofrado deslizante, debido a las enormes complicaciones de tal solución.

En la construcción de la torre de RTVE se ha seguido la secuencia de actividades principales, que se indican a continuación:

- a) *Cimentación.*
- b) *Deslizamiento del fuste.*
- c) *Construcción de la copa de hormigón.*
- d) *Montaje de la estructura de escaleras y núcleo de ascensor.*
- e) *Construcción de plataformas cerradas y edificación.*
- f) *Construcción de plataformas abiertas.*
- g) *Montaje de la estructura del mástil para antenas.*

### a) Cimentación

Se comenzaron las excavaciones el día 17 de febrero de 1981 y el día 15 de marzo del mismo año se procedía al hormigonado de la losa de cimentación. La puesta en obra se hizo con tres bombas sobre camión funcionando y una de reserva, durante 19 horas ininterrumpidamente, lo cual supuso una media de 105 m<sup>3</sup> de hormigón vertido por hora. Se habían colocado 2.000 m<sup>3</sup> de hormigón de 250 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica y 129.000 kg de acero en redondos AE-42.

### b) Deslizamiento del fuste hasta la cota +166,00

Una vez terminada la cimentación, se procedió al montaje de los equipos para el deslizamiento del fuste. Dichos equipos son básicamente:

- Encofrado deslizante propiamente dicho.
- Medios de producción y transporte de hormigón.
- Medios de elevación de personas y materiales.
- Equipos auxiliares y de seguridad (comunicaciones, protecciones, etc.).

El encofrado deslizante es objeto de estudio aparte.

Para la producción de hormigón se utilizó una planta compacta Fejmert FD-350, de 250 l de mezcla real, con un rendimiento de 12 m<sup>3</sup>/hora en 50 ci-





culos. Dicha planta, semiautomática, posee una mezcladora activadora de eje vertical, que fabrica un hormigón muy homogéneo, de gran plasticidad y calidad, debido al flujo producido por sus palas especiales.

Dadas las exigencias en cuanto a resistencia (320 kilogramos/cm<sup>2</sup> Normas ACI) y al aspecto del hormigón visto (obra muy visible y espectacular); la dosificación fue de 400 kg/m<sup>3</sup> de cemento P-450, con árido rodado del Jarama de tamaños 5-20 mm y 20-35 mm, y arena de río.

La planta estaba situada a unos 20 m de la base del fuste.

No se utilizó ningún aditivo en el hormigón. Solamente un producto de curado en superficie.

El transporte se hacía mediante volquete hidráulico hasta el cazo de hormigón, en la base de la torre. La puesta en el molde del hormigón se hacía en un tiempo máximo (coronación) de 4 a 5 minutos. Los asientos en cono de Abrams eran de 6-9 cm a pie de amasadora, y 4-6 al colocarlos en el molde.

Para la elevación de personas y material se dispusieron dos cabrestantes con carga por el interior del fuste y una grúa de tipo derrick para izado del acero en redondos por el exterior.

Los cabrestantes estaban situados en unas casetas preparadas a tal efecto a unos 15 m desde la base de la torre, perfectamente protegidas de la caída de materiales.

El cabrestante para personas, de 2.500 kg de capacidad de elevación con dos velocidades, la mayor de 90 m/min tenía 80 CV de potencia y estaba provisto de un cable  $\varnothing$  19 mm antigiratorio. Dicho cabrestante se ha equipado con un freno de emergencia de 80 m/kg de par de frenada, ralentizador por corrientes de Foucault y dispositivo de hombre muerto. La jaula de personal que iza, va provista de dos cables guías, con un sistema de trenzado continuo y con un paracaídas de mordazas. Igualmente se disponía de finales de carrera electromagnéticos y células fotoeléctricas para la regulación de la subida o bajada.

El cabrestante para hormigón y otras cargas tiene 2.000 kg de capacidad, con cables de  $\varnothing$  13 milímetros y una potencia total de 107 CV; la velocidad máxima de las tres que posee es de 88 metros/minuto.

El fuste se comenzó a deslizar el día 7 de abril y se terminó el 2 de junio de 1981, con una duración total de 56 días para 170,43 m de altura a partir de la losa de cimentación, incluyendo dos paradas: la primera a los 15 m de altura para el cambio del sistema de hormigonado, con bombas hasta esta altura, al sistema definitivo de cabrestantes y la segunda, para permitir la formación del retranqueo en el fuste en la cota +113,40 m. La duración real del deslizamiento fue de 44 días, con lo que la elevación media diaria real fue de 3,87 m.

Entre los equipos auxiliares y de protección pueden destacarse:

- Sistema de televisión en circuito cerrado con una cámara en la plataforma de trabajo y dos monitores en los puestos de cabrestantes, para el control de las operaciones de izado.
- Sistema de comunicación cabrestantes-encofrado a base de generadores (dos líneas independientes).
- Sistema de compuertas hidráulicas para entrada de jaula de personas y materiales, incluyendo el compresor.
- Pararrayos ionizante provisional.
- Balizamiento provisional e iluminación de los tres niveles de trabajo del encofrado deslizante.



- Protección perimetral de lonas ignífugas en todo el encofrado deslizante.
- Sistema de extinción de incendios con extintores de CO<sub>2</sub>.

Durante el deslizamiento se dejaron situados en el fuste los huecos para puertas en plataformas, balizamiento y ventanas para entrada de cables; anclajes para la estructura metálica de plataformas cerradas en el encofrado de la copa; anclajes especiales tipo Gewi para el acero en redondos de la armadura de plataformas abiertas, así como anclajes para posibles antenas intermedias.

### c) Construcción de la copa

Dado lo ajustado del presupuesto de la obra se había desechado la posible utilización de una grúa torre de pluma abatible tipo HBK o similar adosada al fuste por el exterior. Se estudió y decidió el montaje de una grúa Potain P-428 ligeramente modificada para este trabajo, pero colocada en la parte superior del fuste por el interior y anclada a dos plataformas en los últimos metros del fuste.

Para ello y mediante un andamiaje auxiliar en la coronación del fuste, de 15 m de altura y la utilización del cabrestante, se izó la grúa en módulos, según una compleja pero rápida secuencia, hasta su completa instalación.

Se habían estudiado todas las cargas que habían de ser izadas con esta grúa hasta la terminación de la



obra, de forma que con su capacidad de 2.000 kg en punta, con radio de 18 m y un giro de 360°, era suficiente.

El peso total del encofrado de la copa eran 20.000 kilogramos aproximadamente.

Paralelamente al desmontaje del encofrado deslizante, se procedía al montaje previo del encofrado de la copa, en el suelo, así como de la plataforma auxiliar.

Para el encofrado de la copa, en forma de tronco de cono invertido, se utilizó un sistema de vigas resistentes de madera en celosía tipo PT. 70V dispuestas sobre cuatro correas circulares articuladas de acero, formando en total 14 sectores. Sobre las vigas en celosía se entabló, y posteriormente se colocó, la piel del encofrado a base de tablero fenólico.

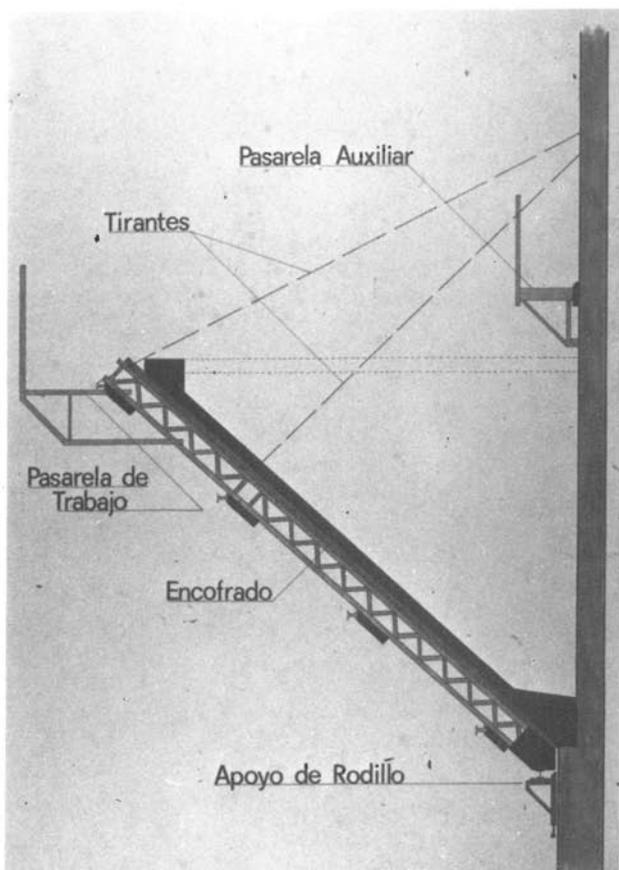
El montaje en el suelo de este encofrado se preparó sobre andamiaje tubular.

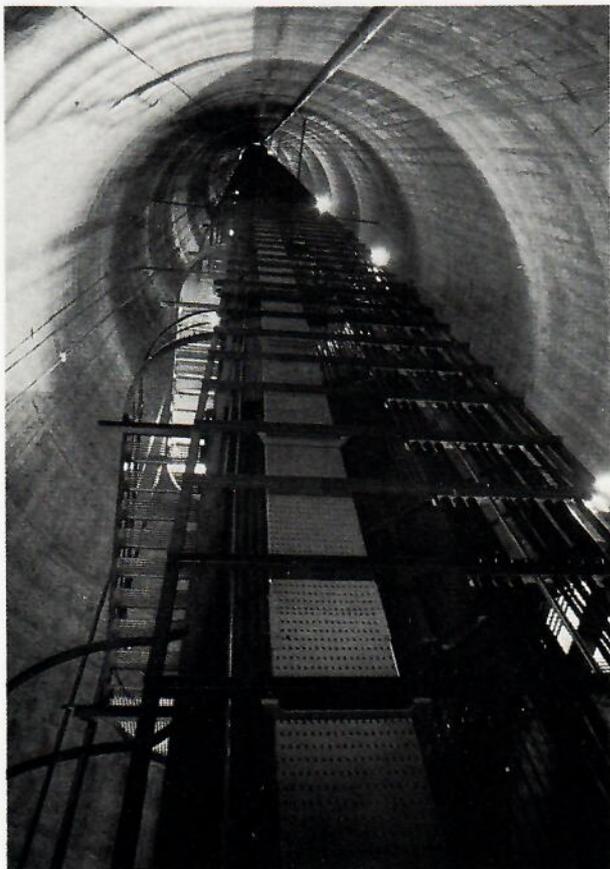
Para poder situar en su cota el encofrado de la copa se preparó igualmente en el suelo una plataforma horizontal circular de trabajo, dividida en 16 sectores, que se izaron con la grúa y anclaron en los dispositivos dejados en el fuste. Desde esta plataforma se colocaron los apoyos de rodillo para la correa articulada inferior del encofrado de la copa. Se izaron los módulos de dicho encofrado y se fueron apoyando a la vez que se colocaban los tirantes contra el vuelco y los perfiles contraviento por cada módulo. Una vez terminada esta operación, se colocó la armadura de la copa y se procedió a hormigonar.

Para la losa de cierre de la copa, suelo de la primera plataforma cerrada a la cota +118,40, se utilizó un andamio auxiliar apoyado en el interior de la copa, sobre el que se preparó el encofrado de la losa, colocándose posteriormente la armadura y el hormigón.

### d) Montaje de la estructura de escalera y núcleo de ascensor

Mientras se procedía a la construcción de la copa y de las plataformas cerradas, en el interior del fuste se montaba la escalera y el núcleo de ascensor con





elementos metálicos; por medio del cabrestante se procedió al izado de módulos prefabricados, de materiales y reenvíos móviles y a su ensamblaje, desde una plataforma móvil totalmente protegida que cerraba el núcleo del ascensor. La escalera está formada por zancas metálicas, barandilla de tubo y peldaños de rejilla galvanizada, y el núcleo del ascensor es una estructura de celosía con perfiles normalizados y un cerramiento de chapa de acero plegada.

e) *Construcción de plataformas cerradas*

A partir de la losa de cierre de la copa se procedió al montaje de una estructura metálica en tres alturas, a base de pilares, vigas radiales y correas transversales, para lo que se utilizó como medio auxiliar la grúa-torre instalada en la parte superior del fuste. Dicha estructura, con un peso total de 140.000 kg se sometió durante su montaje a controles exhaustivos a base de radiografías, líquidos penetrantes y ultrasonidos. Para trabajar con total seguridad, además de todas las protecciones habituales en la estructura de una edificación (en este caso a 120 m de altura), se utilizaron unas jaulas especiales para trabajos en los voladizos, que se movían con ayuda de la grúa.

Los forjados de las plantas +122,00, +125,60 y +130,80 se resolvieron con un encofrado resistente de chapa galvanizada tipo «lesaca»... Una vez colocado el encofrado y fijado a las vigas se armaba con mallazo y armaduras de refuerzo y se hormigonaba con ayuda de la grúa-torre.



Las actividades del montaje de estructura, encofrado, colocación de armadura y hormigonado del forjado, se solapaban al máximo, de forma que en cada planta se mezclaban todas.

f) *Construcción de plataformas abiertas*

Para la construcción de estas plataformas se decidió una solución de tipo tradicional, a base del sistema PD-8 de mesas de encofrado, partiendo como base de apoyo de la plataforma de la cota +130,80, y desde ahí subiendo planta por planta, las cinco losas anulares empotradas en el fuste, con tiempos variables para desencofrado y desapeo según las sobrecargas de las plataformas.

El distinto vuelo de las plataformas, de 6,2 m, 5,0 m, 4,5 m, 3,5 m y 3,5 m, respectivamente, de abajo a arriba, se solucionó mediante dos anillos de mesas de encofrado para la primera plataforma. Dichos anillos estaban formados, a su vez, por sectores circulares, que se izaban con la grúa-torre y para su desplazamiento se utilizaron carros hidráulicos de 1.000 kg de carga de los tradicionales para este tipo de encofrado.

El empotramiento de las losas de hormigón al fuste se resolvió mediante anclajes especiales tipo «gewi», que se habían colocado durante el deslizamiento del fuste. Igualmente en cada nivel de plataforma se había dejado un retallo perimetral. Posteriormente, sólo quedaba descubrir los agujeros de



los anclajes, introducir las barras especiales de acero, y armar la losa.

g) *Montaje de la estructura de mástil para antenas*

En la coronación del fuste se prepararon los cuatro anclajes necesarios para el arranque de tal estructura.

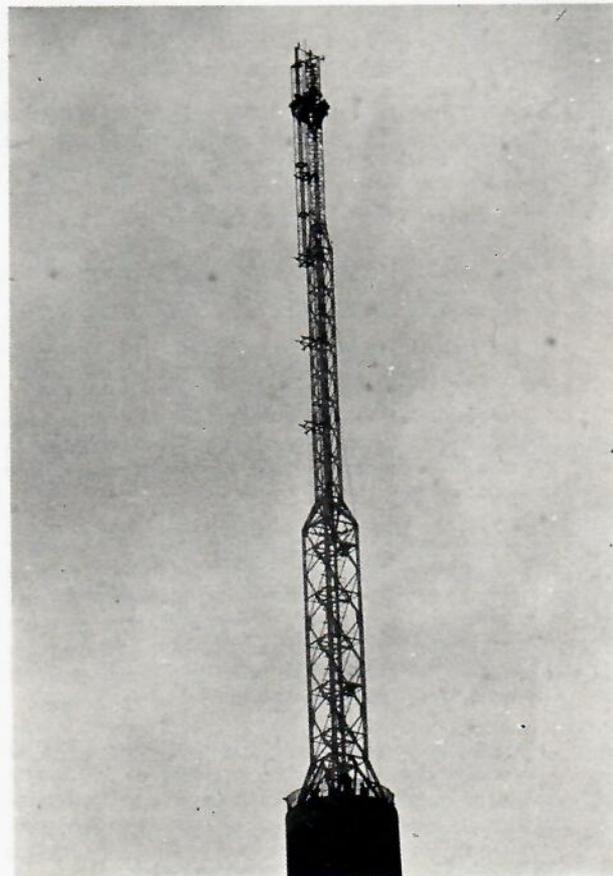
Previamente se había procedido a desmontar la grúa-torre del interior del fuste, mediante un proceso inverso al descrito en su montaje, aunque en este caso la bajada de sus módulos se realizó por el interior del hueco del ascensor.

Los elementos componentes de la estructura metálica se habían situado previamente al desmontaje de la grúa, en las últimas plataformas abiertas.

Partiendo de los anclajes, se montaron las cuatro patas de la estructura por elementos. A partir de ahí, y con el auxilio de un plumin que se iba trepando con la estructura, se procedió al montaje de los tres tramos.

A la vez se iba colocando la escala de pates interior a la estructura, sus aros de protección y sus plataformas intermedias.

Los perfiles metálicos se colocaban con una primera mano de pintura; la capa final y balizamiento pasivo de la estructura (bandas rojas y blancas) se



terminó una vez montada la estructura. Igualmente se montó el pararrayos definitivo con sus bajadas y el balizamiento activo en la coronación de la estructura metálica.

#### ENCOFRADO DESLIZANTE CIRCULAR DE SECCION VARIABLE

Para la construcción de la torre de RTVE fue necesaria la utilización de un encofrado deslizante circular de sección variable, capaz de adaptarse a las dimensiones de la misma.

Este encofrado consta de las siguientes partes fundamentales:

- a) Estructura portante.
- b) Encofrado propiamente dicho.
- c) Plataformas principales de trabajo interior y exterior.
- d) Plataformas secundarias interior y exterior.
- e) Equipo de elevación.

#### Definiciones

- a) *Estructura portante.* — Formada por un núcleo del que parten radios por los que se desplazan los pórticos sustentadores del encofrado. Estos pórticos

móviles en los planos radiales, definidos por cada brazo y el eje vertical de la construcción, realizan con sus movimientos las tres funciones siguientes:

- 1.<sup>a</sup> Adaptarse a la inclinación de los paramentos mediante accionamiento mecánico, con lo que se consiguen las pendientes de los paramentos con respecto al eje vertical del encofrado y cuyos valores fueron los siguientes:

De cota - 4,43 a cota + 97,5 pent. 2,50%

De cota + 97,50 a cota + 113,4 pent. 0,00%

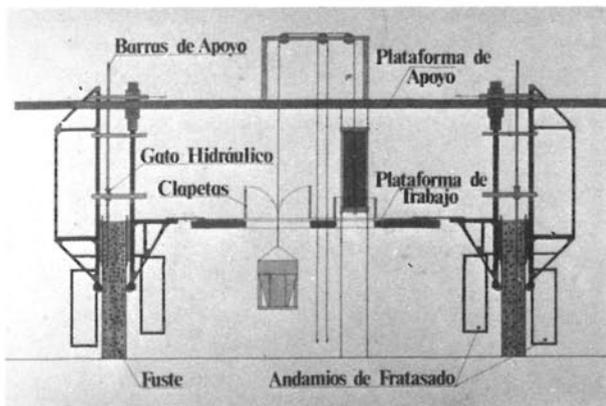
De cota + 113,4 a cota + 166,0 pent. 1,25%

- 2.<sup>a</sup> Adaptarse al espesor de pared, operación que se realiza mecánicamente con desplazamientos máximos relativos entre encofrados interior y exterior de 2 mm.

Habiéndose obtenido reducciones del espesor de muro de 208 mm desde la cota -4,43 a la cota +97,50, aumentos de 168 mm entre las cotas +97,5 y +113,40, en esta cota se hizo una reducción brusca de 230 mm para apoyo anular de la copa de hormigón, quedando el espesor de pared en 360 mm.

Desde la cota +113,40 hasta la cota +146,60 se mantuvo un espesor constante de 360 mm y desde esta cota hasta la cota +152,60 el espesor de pared se redujo en 60 mm permaneciendo constante hasta la cota final (166,00 metros).

- 3.<sup>a</sup> Adaptarse al diámetro en cada cota de forma continua mediante accionamiento hidráulico simultáneo en cada punto del contorno, por desplazamiento radial, como anteriormente se dice, de los pórticos sustentadores del encofrado propiamente dicho, habiendo comenzado con un diámetro de 12,736 mm para coronar con un diámetro de 5,865 mm.
- b) *Encofrado propiamente dicho.*—Formado por chapas metálicas rectangulares que permiten la consecución de paramentos completamente circulares. De la calidad de estas chapas depende la continuidad en la adaptación del molde a los paramentos; han de ser, por consiguiente, muy elásticas y resistentes a las deformaciones permanentes.



Estas chapas se adaptan a tres tubos, también elásticos, cuya deformación es forzada por los pórticos al desplazarse radialmente por los brazos de la estructura portante.

- c) *Plataformas principales de trabajo interior y exterior.*—Situadas a la altura del borde superior del encofrado, metálicas y variables en diámetro. Desde ellas se realizan las operaciones de recepción —a través de compuertas hidráulicas—, del hormigón, colocación del mismo, vibrado, colocación de armaduras y otros elementos de anclaje, pasamanos, señalización, etc. así como todas las operaciones de manejo del encofrado deslizante.
- d) *Plataformas secundarias interior y exterior.* —Situadas a 1,8 m por debajo del borde inferior del encofrado, en ellas se realizan las operaciones de acabado de paramentos, curado de los mismos, y vigilancia del hormigón a la salida del encofrado.
- e) *Equipo de elevación.* —El encofrado se elevó mediante 8 gatos oleohidráulicos de 6 t y 16 de 3 t, que trepan por varillas calibradas de 32 y 25 mm  $\varnothing$  respectivamente. Para la reducción del diámetro se emplearon 24 gatos de 3 t. Estos gatos fueron accionados mediante bomba eléctrica a través de mangueras flexibles de alta presión.

Los intervalos de acción de la bomba, previamente fijados, se cumplen automáticamente mediante un temporizador o emisor de impulsos.

El encofrado queda detenido automáticamente en aquellas cotas en que haya que realizar operaciones de reducción de diámetro, reducción del espesor de pared, etc.

## Verticalidad

El control de verticalidad se hizo mediante plomada cenital, de óptica pendular de gran precisión; las mediciones se obtienen con un error máximo de  $\pm 1$  mm en 150 metros.

El encofrado va provisto de una referencia central de verticalidad y dos en los extremos de un diámetro que acusan cualquier giro del encofrado alrededor del eje de simetría vertical de la torre. De esta forma se pone de manifiesto con absoluta precisión cualquier desviación del encofrado, lo que permite su inmediata corrección.

El intervalo de comprobación o corrección dependerá, en cada caso, de diversos factores tales como condiciones climatológicas, velocidad de deslizamiento e incluso dilataciones térmicas producidas por un fuerte soleamiento de una zona de la pared. Cualquiera de ellas puede hacer aconsejable una reducción en los intervalos de control.

Las correcciones nocturnas se realizan por el mismo procedimiento mediante la iluminación adecuada de las referencias de verticalidad o giro.

Al comienzo del deslizado las citadas referencias se fijan en la cimentación donde se colocan los puntos de estación fijos que ya no se abandonarán durante todo el deslizamiento.

## MEDIDAS PREVENTIVAS DURANTE SU CONSTRUCCION

### Introducción

La construcción de la Torre de RTVE en Madrid (primera obra de este tipo realizada en España), en función a sus características y emplazamiento, entraña además de los riesgos generales de toda construcción, unos riesgos específicos para trabajadores y terceros.

Su altura y voladizos implican riesgo de caída de personas, materiales y objetos, lo cual unido a la velocidad del viento, y a la proximidad a dos avenidas importantes y su confluencia, han hecho que hubiese que extremar las precauciones al máximo.

La filosofía preventiva en esta obra ha seguido las líneas de la Seguridad Integrada. La Jefatura de Obra y el Staff de Seguridad han coordinado sus actuaciones adelantándose a cada fase de ejecución de forma que los sistemas de producción llevasen incorporadas las medidas de seguridad idóneas; bien entendido que factores tales como variaciones de proyecto, definiciones casi inmediatas a la ejecución, plazos, etc., han hecho que no siempre se pudiese seguir dicha filosofía como sería de desear.

A grandes rasgos, las actuaciones preventivas han sido las siguientes:

#### Prevención General

El elemento humano ha jugado un papel de especial importancia teniendo el personal mucha experiencia en obras de gran altura, y disponiéndose de los especialistas adecuados a cada caso.

La actuación técnica ha seguido el Plan de Seguridad para deslizantes de gran altura, y ha integrado la seguridad en el plan de cada fase de ejecución (copa, plataformas, escaleras, grúa, etc.).

Las protecciones colectivas e individuales, la señalización y la iluminación, han sido las que requería cada trabajo, y las revisiones y mantenimiento de instalaciones, electricidad, maquinaria, y material de seguridad, se han realizado con la periodicidad pertinente.

#### Prevenciones específicas de cada fase de obra

##### a) *Excavación y cimentación*

Taludes adecuados a la excavación de la zapata circular, acceso en rampa, señalización y acotación de bordes, y vigilancia continuada frente a terceros.

Para la colocación de la armadura de la zapata, se utilizaron las pasarelas adecuadas en cada caso.

El hormigonado de la zapata que fue continuo se realizó con la iluminación adecuada en las horas nocturnas, y la situación de camiones y bombas de hormigonar se hizo de forma que no sufriese el talud de la excavación.

##### b) *Fuste*

A continuación se montó el encofrado deslizante del fuste, con todos los sistemas de protección co-

lectiva incorporados de forma que desde el comienzo del deslizamiento no hubiese más que vigilar la correcta disposición de los medios de protección.

El encofrado disponía de tres plataformas a distinto nivel: además de disponer cada una de las barandillas perimetrales, se colocaron lonas ignífugas que cubrían todo el exterior y embolsaban por su parte inferior la plataforma exterior de fratasado, de forma que no sólo protegían de la caída de pequeños objetos y evitaban el posible vértigo sino que ayudaban en los momentos de reducir barandillas y plataformas en función a la reducción del diámetro del fuste.

La plataforma interior de fratasado se protegió, además de con barandillas, con malla metálica.

Las escaleras de comunicación entre plataformas estaban completamente protegidas.

El acceso de personal desde la base a la plataforma principal del encofrado se hacía por medio de aparato elevador con los sistemas pertinentes de seguridad: freno paracaídas, finales de carrera, etc. Entre la zona de mandos y la plataforma se disponía de circuito cerrado de televisión, teléfono y radioteléfono. El cabrestante disponía de freno de emergencia y mando de hombre muerto.

Se disponía de cabrestante independiente para elevación de hormigón y pequeños materiales.

La ferralla se elevaba exteriormente por medio de un derrick situado en la plataforma superior.

Las clapetas de entrada en la plataforma de ambos elevadores funcionaban con accionamiento hidráulico, y al quedar abiertas tenían incorporadas barandillas protectoras.

Con un sistema de poleas y pesos se variaba automáticamente la longitud de los cables-guía de la cabina (en función a la variación de la cota del encofrado) y se mantenía la tensión de los mismos.

Las plataformas disponían de extintores y de iluminación artificial dado que la construcción del fuste ha sido continua, a base de distintos turnos de trabajo.

A nivel del terreno se tomaron las siguientes medidas:

Vallado del solar de la obra.

En función a la posible, aunque no probable, caída de objetos, y teniendo en cuenta la zona de influencia de la parábola descrita por los mismos, se tomaron las medidas que se exponen a continuación:

Las siguientes tres zonas de acceso y paso: desde la entrada de la obra a la zona de oficina, vestuario, comedor, servicios y almacén, desde la zona de mandos de cabrestantes y la planta de hormigonado al fuste, y la circunvalación a la torre para acceder a la zona de carga de ferralla, se protegieron con pasillos de seguridad con su techo cubierto.

Las calles de O'Donnell y Sáinz de Baranda se dotaron de vallas y señalización (entre ellas luminosa)

en las zonas de influencia de posible caída de objetos, gestionando previamente los correspondientes permisos municipales.

Asimismo, en la base de la torre se creó un techo de seguridad y dos pasillos protegidos superior y lateralmente, uno hasta el acceso al elevador de personas, y otro hasta el de hormigón (que se transportaba hasta el cazo con un dumper).

Dada la gran altura de la obra, está dotada a partir de la cota pertinente, de balizas para los aviones, y desde el comienzo del deslizamiento, de pararrayos; este último demostró su eficacia el 28 de abril, día en que hubo una fuerte tormenta en Madrid, cayendo un rayo sin consecuencias negativas.

#### c) *Grúa-torre para construcción de voladizos*

Terminado el deslizamiento del fuste de la torre, simultáneamente se desmontó el encofrado deslizante y se crearon dos plataformas a distinto nivel para sujeción de una grúa-torre en la parte superior, y otra plataforma en la cota máxima, sobrevolando el diámetro del fuste, con objeto de disponer de espacio suficiente para realizar los trabajos en condiciones buenas y seguras.

Las plataformas donde va sujeta la grúa disponen de una estructura metálica de soporte, soldada a placas de anclaje previstas en el fuste; estas plataformas se montaron en condiciones de seguridad desde otra plataforma cuajada y colgada de elementos estructurales del encofrado.

Se estudió en su momento la posibilidad de colocar la grúa con helicóptero, pero dadas las dificultades técnicas y las no suficientes garantías de seguridad se optó por elevar el mástil (en varios tramos) verticalmente por el interior de la torre, unirlos posteriormente, a continuación izar pluma y contrapluma de forma similar, unir los elementos, elevar el mástil (con pluma y contrapluma colgadas) desde las plataformas citadas, desplegar pluma y contrapluma, y bajar posteriormente la grúa hasta su cota de servicio.

Todo el estudio detallado del proceso de montaje llevaba integrado su plan de seguridad.

Asimismo se cambiaron los reenvíos de la cabina de personas y el elevador interior de materiales, desde el encofrado hasta el interior de la plataforma superior; se crearon dos nuevas plataformas de desembarco de la cabina, totalmente protegidas, una a nivel de la copa y otra a la cota +135,60 subiéndose hasta la cota +166,00 por una escalera de pates con jaula protectora y descansillos reglamentarios.

#### d) *Voladizos*

Constan de la copa y un conjunto de plataformas cerradas en cuatro niveles, y de cuatro plataformas abiertas.

Los mayores riesgos, además de la gran altura, es-triban, primero en la construcción de la copa que, al nacer del fuste, carecía de plataformas de trabajo, y segundo en que las dos plantas siguientes a la tapa de la copa sobrevuelan respecto a la inmediata inferior.

#### d-1) *Copa*

Para la colocación y desmontaje del encofrado de la copa de hormigón, se creó una plataforma de trabajo por debajo del futuro encofrado. Esta plataforma construida y colocada en sectores que rodean la torre, se colgó y sujetó en anclajes especiales previstos en el fuste, de forma que la grúa pudiese colocar los sectores directamente; no obstante, colocado el primer sector y accediendo desde una de las puertas del fuste, por medio de escalera, pasarelas, y elementos salvacaídas unidos al cinturón de seguridad, la colocación de los siguientes sectores fue más sencilla. Todos los sectores llevaban incorporada su barandilla desde el montaje a nivel del terreno, de forma que la protección de la plataforma quedase automáticamente montada.

La mitad de los sectores (uno sí y otro no) van anclados al fuste y disponen de una plataforma inferior protegida para fijar correctamente los anclajes; la otra mitad, alternativamente va sobre los sectores citados en primer lugar.

Posteriormente, y de forma parecida, se colocó el encofrado de la copa con plataforma perimetral y barandillas incorporadas.

Para la sujeción de los tensores del encofrado se colocó una pequeña plataforma también por sectores y con barandilla incorporada.

El acceso desde el aparato elevador se hacía por una puerta dejada en el fuste, y con escalera interior se subía a la plataforma de trabajo para construir la copa. Posteriormente se quitó el encofrado con la ayuda de la plataforma inferior y se construyó la tapa, protegiendo previamente con barandilla el perímetro.

La copa dispone de pequeños orificios para paso de cables y desmontaje de encofrado y plataforma inferior, y de un hueco que posteriormente se cerrará, para retorno de los trabajadores que ayuden a desmontar el último elemento de plataforma inferior.

Simultáneamente se iba montando la escalera definitiva interior a la torre, también con estudio de seguridad integrado en el de montaje.

#### D-2) *Plataformas cerradas*

Construida la tapa de la copa, se disponía ya de un piso definitivo en voladizo; no obstante, había que montar las estructuras metálicas de las dos siguientes plataformas que sobrevuelan respecto a la copa, y los correspondientes forjados.

En un principio se estudió y proyectó un sofisticado sistema específico de redes y soportes de forma que su montaje y movimientos sucesivos no entrañasen riesgos.

No obstante, dadas entre otras las condiciones de plazo, espacio reducido, salida de los castilletes de apeo de las plataformas de hormigón, etc., y dado también que las plataformas de estructura metálica dispondrían de encofrado perdido a base de chapa metálica ondulada, se optó, conjuntamente con la línea de producción, por otro sistema de protección



igualmente seguro y más adecuado a las características de la obra.

Este sistema ha sido a base de plataformas de trabajo totalmente protegidas, y colgadas de las vigas radiales; montados los pilares y soldadas dichas vigas al pilar y a las placas del fuste, dos plataformas (jaulas de longitud mucho mayor a su anchura y altura) se colgaban con la grúa a lo largo de dos vigas radiales contiguas. El acceso se hacía desde el forjado, y en ellas se trabajaba con toda seguridad en el montaje de las vigas perimetrales voladas.

Dichas plataformas llevaban dos barras verticales abatibles y una horizontal pasante, para su correcta sujeción a la viga que permitan posteriormente el desmontaje una vez colocadas las vigas perimetrales.

Entre los pilares, a su vez, se montaban barandillas.

Asimismo se ha dispuesto de otro tipo de jaulas protegidas que, soportadas entre dos forjados, dejaban la zona de trabajo en voladizo; estas jaulas han servido para colocar, entre otros, los soportes verticales del pasillo metálico que rodea a la copa, anclajes bajo vigas, etc.

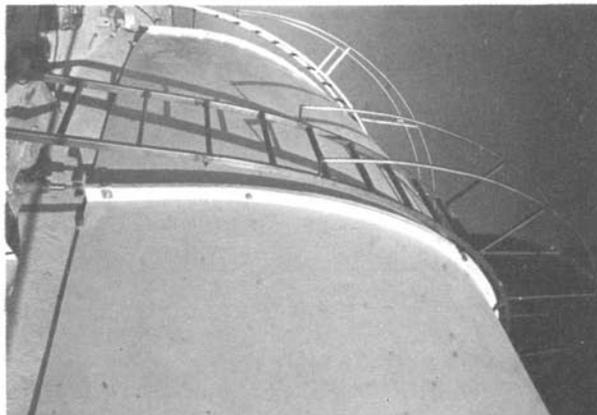
#### d-3) Plataformas abiertas

Los apeos del encofrado disponían de barandilla en cada sector.

No obstante, en las dos primeras plataformas se colocó barandilla provisional (pues no disponían de definitiva) y en las dos últimas se montó lo antes posible su barandilla definitiva.

#### e) Escalera definitiva

Como se ha citado, se empezó a montar una vez instalada la grúa, y el sistema de seguridad iba integrado en el de montaje. Entre los soportes verticales, que forman a su vez el hueco del ascensor, se ha dispuesto una plataforma que además de ayudar a los trabajos, evitaba la caída por el interior, pues se iba elevando a medida que se montaba la escalera. Cada tramo de escalera, cogido con grúa, se presentaba desde el tramo anterior, por lo que unido a la plataforma citada, los trabajos se realizaban (ayudados de cinturón de seguridad) en buenas condiciones.



Como su construcción fue bastante rápida, el acceso desde el desembarco del elevador de personas a las plantas en voladizo, se ha realizado normalmente por dicha escalera; para ello se crearon accesos provisionales perfectamente protegidos a las distintas plantas (dado que los futuros desembarcos desde el ascensor definitivo a los distintos niveles, no se podían colocar todavía).

La escalera se montó hasta la cota que permite la grúa. A partir de dicha cota el acceso se realiza con escala vertical protegida y desembarcos igualmente seguros.

#### f) Cerramientos

La elevación de los elementos de cerramiento de la mansarda y la planta más saliente se ha realizado con la grúa-torre y disponiendo de los útiles necesarios.

En las plataformas retranqueadas la elevación se ha realizado con cabrestante situado en la planta a cerrar, ayudado por poleas de reenvío a nivel de techo de dicha planta.

El montaje del cerramiento tórico (que va del último nivel cerrado a la mansarda) se ha realizado desde dentro de la planta, ya que va desde un pretil interior a un perfil situado bajo la mansarda. No obstante, para las uniones de que dispone exteriormente, se ha construido una escalera con protección que se adapta a la forma del cerramiento.

El montaje de las piezas de cerramiento de la planta más saliente se ha realizado, interiormente, desde su forjado y el inmediato superior.

Los cerramientos de los dos niveles interiores también se han montado desde el interior de las plantas.

#### g) Antena

Su montaje se hizo por expertos en este tipo de trabajos. La elevación de los módulos de mástil se ha realizado con un plumín que al disponer de un sistema de trepado sobre la parte de antena construida, está siempre en la cota superior.

Los montadores, por el interior de la antena, fueron ensamblando los elementos, y disponían de los medios de seguridad adecuados.

h) *Galería de unión Torre-Edificio de Informativos, e Instalaciones*

Las medidas de seguridad son las habituales en este tipo de obras, que no necesitan especial mención por ser conocidas.

No obstante, reseñamos que la galería se ha construido dando los taludes necesarios a la excavación, y señalizando la parte superior; el encuentro con la torre ha implicado el desvío de la circulación de personas y camiones por el lado opuesto a la entrada, así como la elevación de la base del aparato elevador de personas al que se accede actualmente desde el nivel del terreno (no desde la base de la torre).

#### OBRA

JOSE RAMON BURGOS MORCILLO  
Ingeniero de Caminos. AGROMAN, Empresa Constructora.

ALFREDO CHAVES DE CASTRO  
Ingeniero Técnico Industrial. YDE - AGROMAN

FELIX RODRIGUEZ HUIDOBRO  
Ingeniero Técnico de Obras Públicas. AGROMAN, Empresa Constructora, S. A.

#### SEGURIDAD

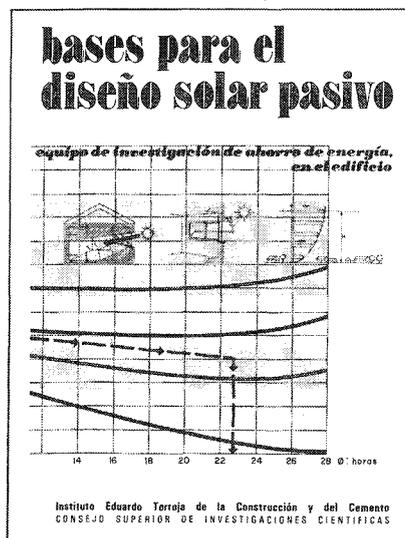
FERNANDO MIRET CORRAL  
Ingeniero Industrial. AGROMAN, Empresa Constructora, S. A.

#### PROYECTO

JOSE DEL SOLAR BERMEJO  
Ingeniero de Caminos. KARMAN, Técnicas Especiales, S. A.

FERNANDO HUE GARCIA  
Ingeniero de Caminos. DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S. A.

## Última publicación del I.E.T.C.C.



Equipo de Ahorro de Energía en el edificio

Dirección y coordinación:  
Arturo García Arroyo

M.<sup>a</sup> José Escorihuela  
José Luis Esteban  
José Miguel Frutos  
Manuel Olaya  
Bernardo Torroja

selectividad en la aplicación de los sistemas y procedimientos pasivos dando origen a un ecumenismo arquitectónico solar, al margen de las condiciones climáticas y funcionales específicas de cada caso y lugar.

En este libro, utilizando criterios y metodología pedagógicos, se dan los fundamentos e instrumentos teórico-prácticos necesarios para el planteamiento de todo proyecto arquitectónico solar pasivo, de acuerdo con los principios éticos y económicos de conservación y ahorro de energía. Es decir: respeto de los presupuestos bioclimáticos, búsqueda de la máxima captación y acumulación de la radiación solar, y esmero en el aislamiento térmico de los cerramientos.

Un volumen encuadernado en cartulina ibiza plastificada, a cinco colores, de 16 x 23 cm, compuesto de 216 páginas, 217 figuras, 87 gráficos, 19 tablas y 10 cuadros.

Madrid, 1983. Precios: España 2.100 ptas.; 30 \$ USA.

Las dificultades de suministro y el alto coste de los productos energéticos convencionales han despertado la atención de los usuarios, técnicos e industriales de la edificación hacia los procedimientos y sistemas en que se basa el aprovechamiento de otras fuentes alternativas de energía, principalmente la solar. Esto ha generado un rápido desarrollo industrial y comercial que, en opinión de los autores de este libro, arrastran los siguientes defectos: un mimético tecnologismo respecto de los sistemas convencionales que violenta las peculiaridades de la energía solar (baja densidad y variabilidad en el tiempo), y una escasa