TORRES DE TELEVISION: EVOLUCION Y DESARROLLO

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

504-7

Las torres de telecomunicación pertenecen a un campo de la Arquitectura, profundamente ligado a la Ingeniería, de reciente aparición y enorme desarrollo tecnológico.

Con la introducción de la Televisión en el mundo es cuando estas torres han alcanzado un mayor auge, hasta el punto de haber generalizado su nombre al de una de las muchas funciones para las que se destinan, llamándolas normalmente Torres de Televisión.

No obstante, torres de televisión puras son muy raras, siendo normal que se destinen a emisiones de radio, televisión, telegrafía y telefonía.

Funcionalmente, todavía es conveniente distinguir entre las torres destinadas exclusivamente a transmisiones radioeléctricas y las que además poseen instalaciones de otro tipo, como plataformas de observación abiertas al público, restaurantes giratorios o no, oficinas, estudios de radiotelevisión o incluso instalaciones de observación meteorológica.

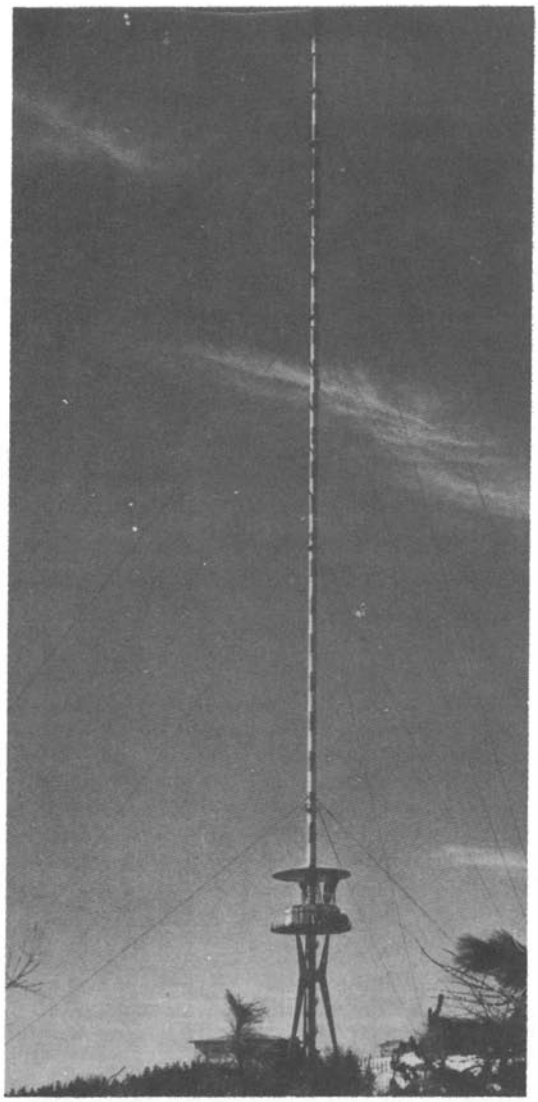
En el diseño de la torre influye en gran medida el material empleado en su construcción. Bajo esa consideración, podemos distinguir dos grandes grupos de torres: de acero y de hormigón.

TORRES METALICAS

Pueden ser atirantadas o no. En el primer caso son normalmente de estructura en celosía, triangular o cuadrada, que permanece constante en toda la altura, excepto en su parte superior no atirantada. A este tipo pertenece la torre de Cap Girardeau, en EE.UU., de 510 m de altura, una de las más elevadas del mundo.

Las no atirantadas pueden ser de estructura en celosía o de nervios de alma llena. Entre las no atirantadas están la primera torre de gran altura construida en el mundo, la Torre Eiffel de París, de 310 m de altura, y la más moderna de Tokyo de 330 m. Entre las segundas

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



podemos citar la llamada «Aguja del Espacio», erigida para la exposición mundial de Seattle, de 183 m de altura.

En España hay también un gran número de torres de acero, la mayoría de ellas edificadas en lo alto de elevadas montañas, lo que hace innecesario que tengan una gran altura estructural.

Entre las urbanas cabe destacar la del Centro de Televisión en el Paseo de La Habana, en Madrid, erigida en los años cincuenta. Esta torre ha proporcionado un eficaz servicio a RTVE y ahora, con la entrada en servicio de Torre España, da por finalizada su vida activa.

TORRES DE HORMIGON

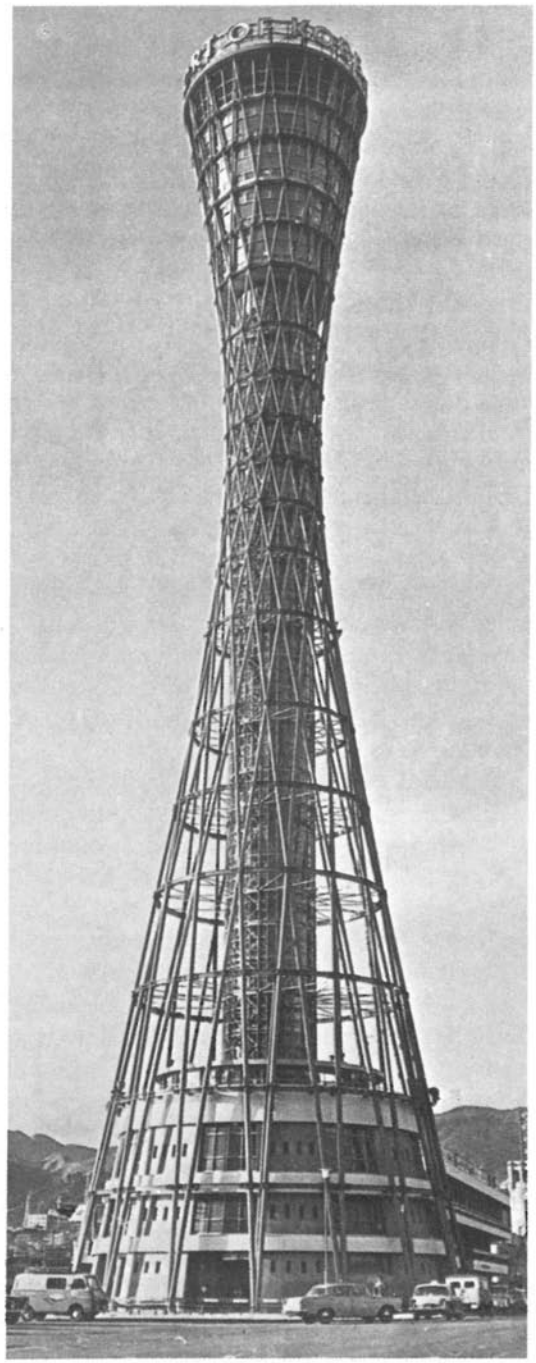
Las torres de hormigón suelen ser de sección transversal anular, entre las que podemos citar la más alta de Europa, con 537 m de altura, que es la torre de telecomunicaciones de Moscú.

Como excepciones también se han construido torres cuya sección transversal no es anular, entre las que destaca la torre de Telecomunicaciones de Toronto, récord mundial de altura con 550 m y las de Niágara y Kobe de 160 y 117 m respectivamente.

TORRES MIXTAS

Casi todas las torres de hormigón llevan en su parte superior un mástil metálico, de estructura en celosía o tubular, cuya altura suele ser del orden de 1/5 de la total de la torre.

En otras torres la estructura soporte de las plataformas cerradas son de vigas metálicas con losa de hormigón.



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Estas dos últimas características se dan en la reciente Torrespaña de Madrid, de 220 m de altura.

Como ejemplo singular de estructura mixta podemos citar la torre de Bratislava, de 210 m de altura, formada por un núcleo central de hormigón, de sección cuadrada, rigidizado por cuatro nervios metálicos exteriores.

DESARROLLO DE LAS TORRES DE TELECOMUNICACIONES

Es en Alemania, país que cuenta con un elevadísimo número de torres de telecomunicaciones, donde la evolución de las mismas es más fácil seguir. Nos referiremos a las torres de fuste de hormigón armado —que son mayoría— de más de 100 m de altura.

Al principio de los años 50 aparecieron las primeras torres de hormigón armado, con fuste cilíndrico y 3 ó 4 plataformas en las que se situaban parábolas de hasta 3 m de diámetro. El recinto en que se alojan los equipos de transmisiones y de alimentación eléctrica, consiste en un edificio separado edificado al pie de la torre. Un ejemplo de estas torres es la de Jakobsberg.

La segunda fase evolutiva comenzó con los años 60. Las torres son ya de fuste troncocónico de hormigón armado con 4 ó 5 plataformas sobre las que se disponen emisores de ondas ultracortas y en coronación de la torre una estructura metálica soporte de antenas emisoras de televisión.

También en esta segunda fase el recinto de equipos de transmisiones se constituye como edificio separado al pie de la torre.

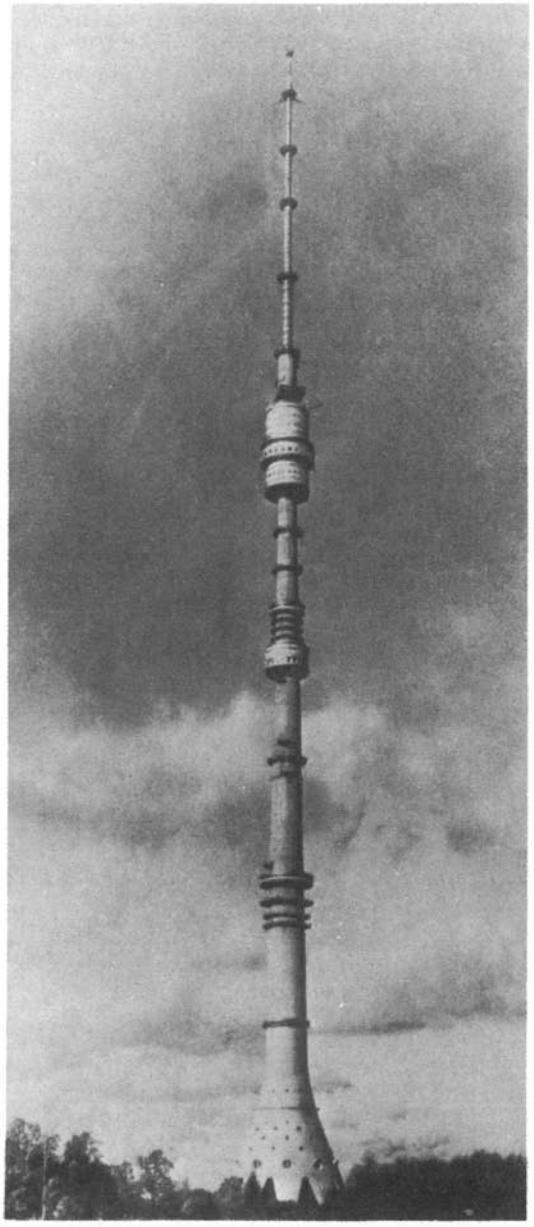
Posteriormente, debido al rápido desarrollo de la técnica de transmisiones, las ondas electromagnéticas empiezan a transmitirse con frecuencias cada vez más elevadas. Esto tuvo varias consecuencias, entre las que podemos citar como más importantes, bajo el punto de vista de la evolución de las torres, las que a continuación se indican.

Las ondas electromagnéticas se transmiten en una línea que es tanto más recta cuanto mayor es la frecuencia en que se emite; por eso las emisiones de TV, en particular las de la banda de UHF, necesitan antenas muy altas para cubrir una gran zona. Las antenas emisoras se colocan normalmente, y por el motivo expresado anteriormente, en la parte más alta de la torre, sobre una estructura metálica, reservando la parte superior para UHF, la zona media para VHF y la inferior para FM.

En la transmisión entre los equipos y las antenas, en el campo de las altas frecuencias, es donde las pérdidas por amortiguación son más elevadas. Esto plantea la necesidad de que la longitud de esta transmisión sea lo más corta posible.

Para resolver este problema, se desarrolló en los años 70 un tipo de torres en las que el recinto que alberga los equipos de transmisiones se sitúa detrás o debajo de las antenas a las que da servicio. Y únicamente los equipos de alimentación eléctrica y auxiliares se sitúan en edificio separado al pie de la torre.

Esto dio lugar en Alemania a una tipificación de las torres entre las que cabe destacar las series FMT 1 y 2 y las de la serie FMT 11 a 13.



Las primeras disponen de dos plataformas de gran diámetro para el apoyo de las parábolas. Entre ellas se sitúa un amplio recinto cerrado para albergar los equipos de transmisiones, alimentación eléctrica, y maquinaria auxiliar para acondicionamiento de aire, baterías, etcétera.

Por encima de estas plataformas el fuste se continúa en unos 15 m y en coronación del mismo se monta un mástil-antena metálico para emisión de televisión. Las alturas de estas torres oscilan entre 142 m y 185 m.

Las de la misma serie FMT 11, 12 y 13, las plataformas, y por tanto el recinto de equipos, son más reducidas y en coronación de la torre portan un mástil-antena de hormigón centrífugo.

Así hemos llegado al estado actual en que las torres, cada vez más altas y con mayor número de plataformas, realizan un mayor número de servicios. Por ello la mayoría de las torres que se han construido en los últimos

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

años han sido realizadas, no sólo por necesidades técnicas, sino con motivo de algún acontecimiento importante, como puede ser una Exposición Mundial, unos Juegos Olímpicos, etcétera.

Esto hace que el carácter de las torres sea técnico-turístico a la vez que adquieren una cierta representatividad de la ciudad en que se construyen.

Los ejemplos más significativos de los últimos años son:

Torres especiales

	Metros de altura
Torre de Toronto	549
Torre de Moscú	537
Torre de Berlín Este	362
Torre de Frankfurt	331
Torre de Munich	293
Torre de Colonia	276
Torre de Hamburgo	275
Torre de Viena	260
Torre de Koblenza	255
Torre de Düsseldorf	234
Torre de Kiel	230
Torre de Mannhein	223
Torre de Dortmund	220
Torre de Madrid	220
Torre de Berlín Oeste	212
Torre de Stuttgart	210
Torre de Bratislava	210
Torre de Seattle	183
Torre de El Cairo	181
Torre de Londres	180
Torre de Heubach	170
Torre de Niágara	160
Torre de Hufhausen	148
Torre de Hannover	144
Torre de Bremen-Haven	120
Torre de Kobe	117

ASPECTO ESTRUCTURAL

Estructuralmente una torre de comunicaciones consta de cinco elementos fundamentales, que analizaremos con cierto detalle y que son:

— Mástil-antena

— Plataformas abiertas

— Recinto para equipos e instalaciones

— Fuste

— Cimentación

Cada uno de estos elementos responde a las exigencias funcionales de la torre adoptando para cada caso la forma estructural más conveniente.

Mástil-antena

La primera de las necesidades de la torre es servir de antena para las emisiones de radio y de televisión.

Estos mástiles son generalmente de estructura metálica en celosía, anclada a la coronación de la torre de hormigón, y son elementos portantes de las antenas propiamente dichas.

En el conjunto arquitectónico de la torre supone romper con dos premisas importantes: la sección circular de la torre que pasa a ser cuadrada, en la mayoría de los casos, y el material de hormigón armado que en el mástil es de acero. Por eso a veces este mástil-antena se construye en hormigón centrífugo con sección circular, salvando los inconvenientes arquitectónicos citados anteriormente, pero a cambio presenta un carácter funcional mucho más reducido que el mástil de acero en celosía.

Plataformas abiertas

La segunda necesidad de la torre es servir de soporte a las parábolas de enlaces. Estos enlaces sirven para transmitir las señales de una emisora a otra y cubrir así un mayor territorio con la emisión.

Se emplean también sustituyendo a los cables para enlazar centrales telefónicas.

Los enlaces fijos entre emisoras y repetidores utilizan parábolas de diámetros comprendidos entre los 2 y los 6 m. Estas parábolas se colocan en plataformas situadas en la parte superior de la torre, al lado o inmediatamente encima del recinto que aloja los equipos de transmisiones. Su número, dimensiones de diámetro y distancia entre ellas, depende exclusivamente del número de parábolas a instalar y del tamaño de las mismas.

Estas plataformas, generalmente abiertas, adoptan dos formas conceptuales distintas de unión al fuste.

Cuando no son de vuelos muy grandes, entre 3 y 6 m, la solución adoptada es normalmente la de una unión rígida empotrada al fuste. Se transmiten así al fuste unos momentos secundarios que con espesores de fuste normales, entre 30 y 40 cm, son fácilmente absorbibles con refuerzos de armadura en el fuste. Esta solución supone un diseño económico de la propia plataforma. Tal es el caso por ejemplo de la torre de Madrid.

En el caso de ir a vuelos mayores, la solución anterior puede introducir en el fuste momentos tan considerables que aconsejen otra solución. Esta segunda solución es crear en el fuste un apoyo articulado de la plataforma. De este modo los esfuerzos tangenciales en la propia plataforma se ven considerablemente aumentados, con el encarecimiento en dimensiones y armaduras de la plataforma. A este concepto responde la torre de Hannover, en la que la plataforma con un diámetro exterior de 20 m y espesores de 30 cm en el borde y 1,30 en el lado del fuste, se apoya en articulaciones sobre la pared del fuste, reduciendo los momentos secundarios en él a valores muy pequeños. Como contrapartida la propia plataforma tiene unos espesores muy considerables y una armadura muy elevada.

Recinto para equipos e instalaciones

Por el carácter técnico-turístico de muchas torres, hemos de diferenciar dos tipos de recintos:

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

— Recinto para equipos de transmisiones y elementos auxiliares como son aire acondicionado, alimentación eléctrica, acumuladores, etcétera.

— Recinto de servicios turísticos como son restaurante, lugares de observación, etcétera.

Generalmente, como sucede en las torres de Munich y Hamburgo, estos dos recintos se ubican a diferente altura del fuste como dos elementos estructurales separados pero de la misma concepción. No obstante puede ser un único recinto que albergue en distintos niveles tanto los servicios técnicos y generales, como sucede en la torre de Toronto.

Estos recintos son edificaciones cerradas con un grado de equipamiento y acabado, igual o superior a edificaciones análogas en superficie.

El carácter específico de los mismos consiste en que están a una elevada altura del suelo (mayor de 100 m en la mayoría de los casos) y apoyados en una esbelta columna troncocónica.

La forma exterior de estos recintos suele ser circular, ya que es la sección que mejor coeficiente de forma presenta frente al viento.

Se evitan así las esquinas que originan succiones importantes del viento y son fuentes de molestos ruidos.

Los equipos técnicos de transmisiones tienen un margen de temperatura ambiental para su correcto funcionamiento, que es relativamente estrecho. Esto hace imprescindible acondicionar el recinto que los aloja con un aislamiento térmico adecuado en sus paredes y techos e instalar climatizadores y aire acondicionado.

Para la estructura de estos recintos se han dado muchas y diferentes soluciones. Todas conjugan la funcionalidad del mismo con el cariz arquitectónico que cada torre tiene. En función de ambas cosas se busca la solución estructural más económica y adecuada.

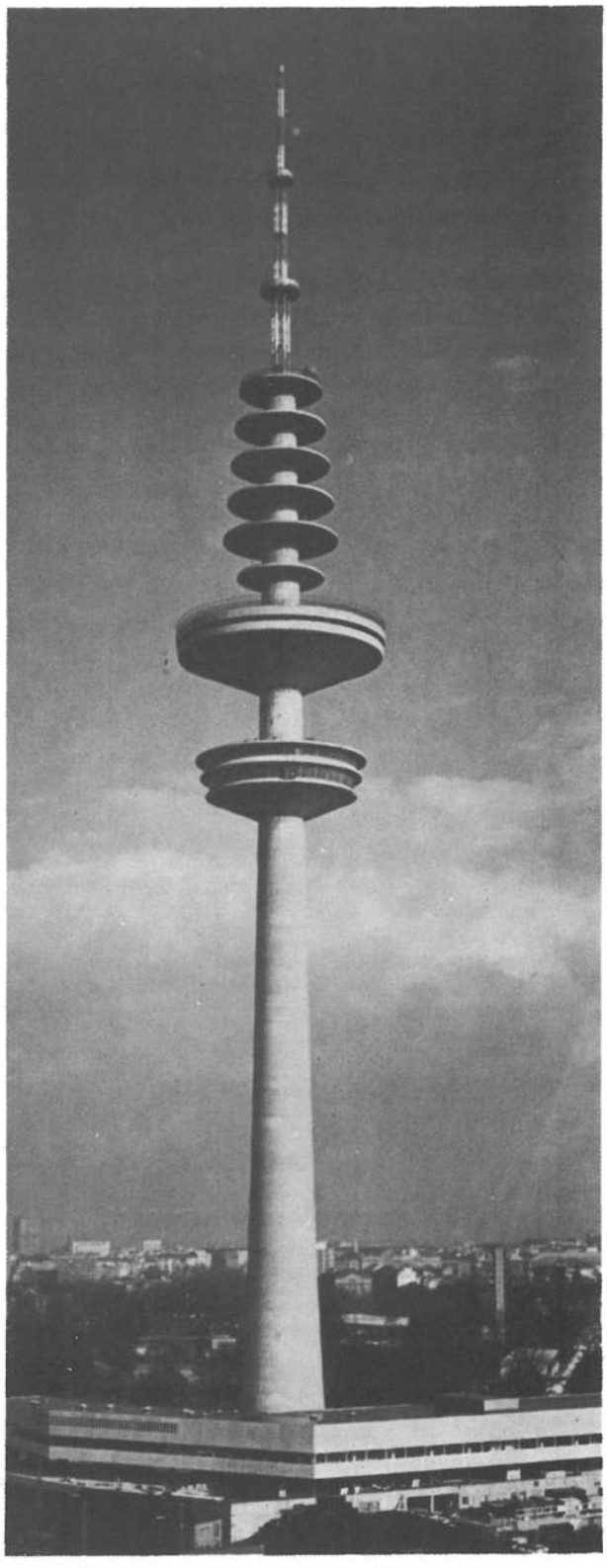
Un ejemplo muy característico de armonización funcional, arquitectónica y estructural es la torre de Hamburgo. En dicha torre el recinto se trata como un elemento espacial rígido que se apoya en nichos continuos realizados en el fuste y de tan pequeña profundidad que no perturban las armaduras del fuste.

Otras soluciones se encaminan a la realización de un elemento estructural rígido de transmisión de cargas del recinto al fuste. Este elemento puede ser monolítico con el fuste hormigonándose incluso al mismo tiempo o bien conectado al fuste mediante dispositivos especiales que se dejan en éste durante su deslizamiento, hormigonando posteriormente el elemento de transición.

Para este último caso se emplean anclajes especiales de conexión de la armadura del elemento exterior al fuste, o bien se crean zonas de apoyo del elemento de transición en el mismo.

Ejemplo del primer caso es la torre de Sttugart y del segundo la torre de Madrid.

En cuanto a la estructura del recinto, propiamente dicho, puede ser de hormigón armado, hormigón pretensado, estructura metálica o estructura mixta. De todas estas posibilidades hay realizaciones.



Una vez resuelta la conexión del recinto al fuste, la estructura del mismo es la de una edificación con planta circular normal. Tan sólo presenta la enorme dificultad de estar construida a más de 100 m de altura.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Por ello, los medios auxiliares necesarios para el montaje y disposición de las cimbras soporte de los encofrados, constituyen por sí solos un tratado de ingeniería.

Unos se arman en el suelo para elevarlos posteriormente y situarlos en su posición definitiva, arriostrándolos y suspendiéndolos de cables de zonas más superiores del fuste.

En otras ocasiones, en torres de poca altura con fuste cilíndrico, el elemento de transición de carga se ha prefabricado al pie de la torre y posteriormente izado a su cota definitiva, hormigonando in situ su conexión de apoyo al fuste.

También se ha construido, como elemento prefabricado, en sectores circulares que se izan y posicionan suspendiéndolos provisionalmente de cables y la rigidización de todos ellos se ejecuta más tarde in situ.

En torres tipificadas como son la FMT 1 y 2, la estructura metálica de 18 nervios y 4 m de altura, que constituye el armazón del recinto de equipos, se recibe en el fuste, en el que previamente se han dejado 18 ventanas, y se recogen en un anillo metálico de tracción adosado al fuste. En la parte inferior de los nervios, y en su zona contigua al fuste, se hormigona desde la estructura metálica suspendida un anillo de hormigón armado que recoge las compresiones de la estructura metálica.

Una vez realizada la estructura del recinto y referida al fuste de la torre, el resto de los trabajos de edificación se efectúan de modo tradicional con el auxilio de medios de elevación que generalmente son grúas que nacen desde el suelo y crecen al mismo ritmo que la torre. O bien, en algunas otras ocasiones, son grúas erigidas con posterioridad al deslizamiento del fuste, emplazadas en coronación del mismo, al que refieren sus cargas. Este último caso es menos frecuente y ha sido el usado en la torre de Madrid.

Fuste

Para el trazado geométrico y dimensionado del fuste existen dos criterios principales que hay que coordinar: la creación arquitectónica y la necesidad estructural-constructiva.

De la demanda de uso en los puntos críticos se obtiene la mínima sección transversal necesaria desde un punto de vista funcional.

La demanda de uso la imponen la escalera interior, nucleo de ascensor, o ascensores, escalerillas de cables, espacio para instalaciones auxiliares como fontanería, aire acondicionado, etcétera.

Los puntos críticos suelen estar en la zona de conexión entre el recinto para equipos y el fuste. De todo ello resulta la sección transversal mínima que debe considerarse y que es determinante para el dimensionamiento del fuste.

La forma de la sección transversal del fuste es otra de las variables a considerar en el proyecto del mismo. Al respecto existe una casi absoluta unanimidad en adoptar la sección circular anular como la más idónea para el fuste. Existen excepciones muy importantes como son la torre de Basilea y las de Niágara y Toronto.

La economía es un factor importante a la hora de decidirse por una sección transversal anular. Es sabido que la sección circular es la que presenta el menor coeficiente de forma frente al viento. Además, al ser la acción del viento variable en dirección, la sección circular resulta muy apropiada por ser de igual resistencia en todas las direcciones.

Los profesores Leonhardt y Schlaich han presentado muchas publicaciones sobre el efecto del viento en obras de gran altura. En ellas las conclusiones sobre el comportamiento de diferentes formas de secciones transversales, ante las acciones de viento, resultan claramente favorables a la sección circular.

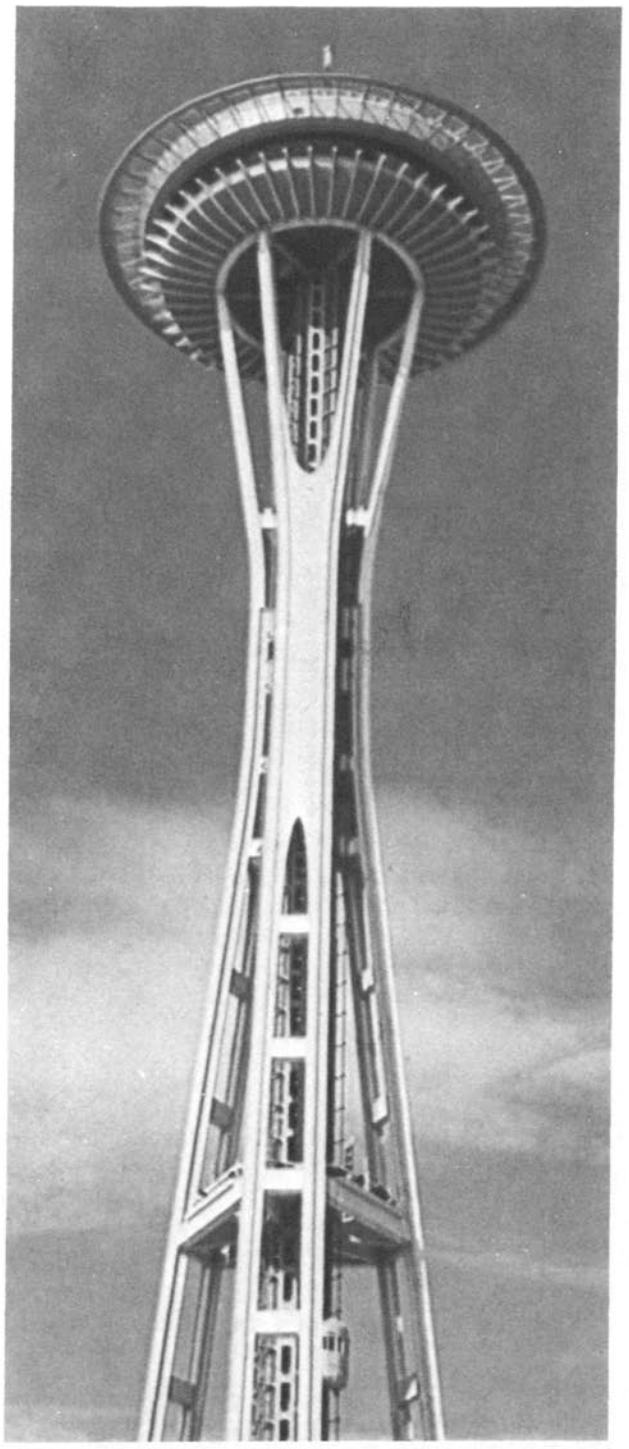
Otro factor importante para el diseño es tratar de evitar vibraciones y perturbaciones sonoras, en especial si la torre se va a utilizar públicamente como restaurante u observatorio. También frente a este factor resulta favorable la sección circular.

En sentido vertical un fuste cilíndrico presenta grandes ventajas funcionales y constructivas, pero esta solución resulta económica sólo en caso de torres de poca altura. Para mayores alturas la solución más económica es la de un fuste troncocónico, con variación lineal o parabólica del diámetro exterior del fuste. Así nos acercamos en lo posible a un perfil de torre isorresistente.

La construcción del fuste puede llevarse a cabo con dos tipos de encofrado: encofrado trepador o encofrado deslizante. Existen numerosas realizaciones con ambos sistemas de encofrado.

Los partidarios del encofrado trepador argumentan, en su favor, la posibilidad de un cuidado más esmerado de la superficie del fuste, más exactitud en el replanteo de

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



anclajes y armaduras, al no sentirse uno apretado por el tiempo. Esto último es particularmente importante al realizar las conexiones del fuste con las plataformas.

Los partidarios del encofrado deslizante argumentan en su favor la eliminación de juntas de construcción, y la mayor rapidez de ejecución.

Cimentación

Para torres de no muy elevada altura, la solución de losa circular maciza, con una capa flexible de polysterol en la zona inferior del centro de la losa, es la más económica.

Para torres de mayor altura, ya es más económica una solución anular. En efecto, el radio del núcleo central en el caso de una losa circular maciza es pequeño, por lo que las presiones en el suelo sufren grandes variaciones al actuar los elevados momentos de viento. Así al deformarse el suelo en los bordes de la losa, en mayor cuantía que en el centro, se corre el riesgo de que la cimentación «caracolee» en su zona central. Esto último puede suponer un empeoramiento tensional del empotramiento de la torre en la losa. Adoptando una losa anular, la fluctuación de las tensiones es menor, y además evitamos el efecto del «caracoleo».

Muchas veces, sobre todo en torres de gran altura, cimentadas en suelos que no admiten grandes presiones, es conveniente ampliar el fuste en su zona inferior, para conseguir un mayor diámetro de la cimentación. Este ensanchamiento, en forma de trompeta del fuste, puede hacerse por encima de la cota del terreno, cuando la torre no está en un núcleo urbano y el problema estético no es tan importante.

En torres edificadas en núcleos urbanos, este ensanchamiento suele hacerse por debajo de la cota del terreno, aprovechando esa zona del fuste para albergar instalaciones de maquinaria de ascensor, etcétera.

La comparación económica de estas soluciones, es fácil hacerla para el caso de dos torres muy similares edificadas en Alemania.

Con losa circular maciza se construyó la torre de Munich y con losa anular con ensanchamiento del fuste, la torre de Hamburgo.

En cantidades de materiales resulta sensiblemente favorecida la torre de Hamburgo. En tiempo de ejecución la ventaja se decanta ostensiblemente hacia la de Munich. Y en tiempo de ingeniería la de Hamburgo requirió 10 veces el número de horas de la de Munich.

No obstante, en ciertos casos, entre los que evidentemente no se encuentra la torre de Madrid, la solución más ingenieril y económica resulta ser la de losa anular con ensanchamiento del fuste.

Para el caso de que la capacidad portante del terreno requiera el uso de pilotes, resulta como solución idónea la de la losa circular anular que encepa todos los pilotes y en la que se empotra el fuste.

* * *

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es