



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA

# Julio Martínez Calzón.

Revisión de sus obras en el campo de la Arquitectura.

Alumna

Carmen Sanz Miralles

Tutor

Ernesto Jesús Fenollosa Forner

Curso 2019-2020

Grado en Fundamentos de la Arquitectura



## RESUMEN

---

Julio Martínez Calzón es un reconocido ingeniero español, con una dilatada y brillante trayectoria profesional. Ha destacado como investigador y escritor, y sobre todo por haber introducido en España el sistema de construcción de estructuras mixtas.

A finales de la década de los 80, fundó el Estudio de Ingeniería MC2, una consultoría de referencia en lo que se refiere al diseño y proyecto de estructuras mixtas y singulares.

Trabajó mano a mano durante años en multitud de proyectos, como el Puente Juan Bravo, con su compañero ingeniero José Antonio Fernández Ordóñez, además de elaborar juntos varias patentes. También ha trabajado con diversos arquitectos de renombre como Norman Foster, en la Torre Collserola, con la que ganaron un premio internacional. A modo de mención, además de la Torre Collserola, ha colaborado en otros proyectos importantes como el Palau Sant Jordi y la Torre del Agua.

Como inquieto divulgador, ha participado en numerosas conferencias, y desde el inicio de su carrera ha combinado su trayectoria profesional con el ámbito docente, buscando siempre transmitir sus conocimientos a los futuros ingenieros.

**Palabras clave:** Julio Martínez Calzón, Estructuras mixtas, MC2, Torre Collserola, Puente Juan Bravo, José Antonio Fernández Ordóñez, Palau Sant Jordi, Torre de Agua.

## RESUME

---

Julio Martínez Calzón és un reconegut enginyer espanyol, amb una dilatada i brillant trajectòria professional. Ha destacat com a investigador i escriptor, i sobretot per haver introduït a Espanya el sistema de construcció d'estructures mixtes.

A finals de les dècada dels 80, va fundar l'Estudi d'Enginyeria MC2, una consultoria de referència en el que es referix al disseny i projecte d'estructures mixtes i singulars.

Va treballar mà a mà durant anys en multitud de projectes, com el Pont Juan Brau, amb el seu company enginyer José Antonio Fernández Ordóñez, a més d'elaborar junts diverses patents. També ha treballat amb diversos arquitectes de renom com Norman Foster, en la Torre Collserola, amb la que van guanyar un premi internacional. A manera de menció, a més de la Torre Collserola, ha col·laborat en altres projectes importants com el Palau Sant Jordi i la Torre de l'Aigua.

Com a inquiet divulgador, ha participat en nombroses conferències, i des de l'inici de la seua carrera ha combinat la seua trajectòria professionals amb l'àmbit docent, buscant sempre transmetre els seus coneixements als futurs enginyers.

**Paraules clau:** Julio Martínez Calzón, Estructures mixtes, MC2, Torre Collserola, Pont Juan Bravo, José Antonio Fernández Ordóñez, Palau Sant Jordi, Torre de l'Aigua.

## ABSTRACT

---

Julio Martínez Calzón is a well-known Spanish engineer, with a long and brilliant professional career. He has stood out as a researcher and writer, and above all for having introduced in Spain the system of construction of mixed structures.

At the end of the 80's, he founded the MC2 Engineering Studio, a reference consultancy in the design and project of mixed and singular structures.

He worked hand in hand for years on many projects, such as the Juan Bravo Bridge, with his fellow engineer José Antonio Fernández Ordóñez, in addition to drafting several patents together. He has also worked with various renowned architects such as Norman Foster, on the Collserola Tower, with which they won an international prize. By way of mention, in addition to the Collserola Tower, he has collaborated on other important projects such as the Palau Sant Jordi and the Water Tower.

As a restless disseminator, he has participated in numerous conferences, and since the beginning of his career he has combined his professional career with teaching, always seeking to transmit his knowledge to future engineers.

**Keywords:** Julio Martínez Calzón, Mixed structures, MC2, Collserola Tower, Juan Bravo bridge, José Antonio Fernández Ordóñez, Palau Sant Jordi, Water Tower.

## ÍNDICE

---

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....	5
BIOGRAFÍA.....	8
CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL.....	9
LIBROS ESCRITOS.....	13
PATENTES .....	16
PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS .....	21
OBRAS EN LAS QUE HA PARTICIPADO.....	22
DESCRIPCIÓN: ESTRUCTURAS MIXTAS.....	24
PASARELAS / PUENTES .....	25
EDIFICACIÓN.....	32
ANÁLISIS .....	37
TORRE DE COLLSEROLA .....	38
PALAU SANT JORDI.....	45
TORRE DEL AGUA .....	54
CONCLUSIONES .....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	65

# OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente trabajo consiste en la revisión de las obras, en el campo de la Arquitectura, a lo largo de toda la trayectoria profesional de Julio Martínez Calzón, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, destacado divulgador y pionero en la introducción de las estructuras mixtas en España.

En el presente trabajo se proponen tres objetivos:

Como primer objetivo, se expondrá una breve descripción de su trayectoria, tanto profesional como docente, ya que siempre ha compaginado su carrera profesional como ingeniero con la docencia, como profesor en las Escuelas de Caminos de Madrid y Santander. También se expondrán las patentes realizadas, libros escritos y premios recibidos.

Como segundo objetivo, se relacionarán los proyectos de ingeniería y arquitectura más importantes en los que ha participado, con datos generales del lugar y fecha de construcción. Se mencionarán los de ingeniería y se profundizará más en los de arquitectura.

Como tercer objetivo, se plantea la descripción en profundidad de tres de sus obras más reconocidas en el campo de la arquitectura. Se realizará una breve introducción de cada una de ellas, explicando su estructura y proceso constructivo.



*Ilustración 1 Julio Martínez Calzón. Fotografía: Javier Rincón Sánchez*

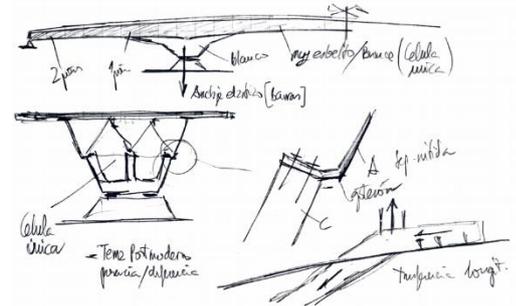
Para ello se propone la siguiente metodología:

Se ha reunido la información referente a todo lo que envuelve a Julio Martínez Calzón. Se ha buscado información de sus estudios, sus patentes, sus obras, de su empresa y de sus colaboraciones con diferentes ingenieros y arquitectos importantes. Para buscar dicha información, se ha recurrido a artículos, páginas web y, concretamente, la página web del ingeniero.

A partir de la información recopilada, se procedió a procesar dicha información. Por un lado, ha sido necesario organizar todas las referencias, datos, artículos e investigaciones que se necesitan para estructurar este trabajo. Por otro lado, se ha clasificado la información cronológicamente y dispuesta en apartados, que configuran un índice.

Una vez analizada y entendida la información, se comenzó a redactar y desarrollar el presente trabajo. Con la ayuda de la clasificación de los datos generales, se fue desglosando cada apartado. En los primeros apartados se expone toda la trayectoria del ingeniero y en los últimos apartados sus obras, junto con una descripción más extensa de las más destacadas. Para aclarar y complementar mejor parte de la lectura, se han realizado diversas tablas e imágenes, que acompañan a la información.

Por último, se finaliza el trabajo con una serie de conclusiones que resumen las ideas principales, a las que se ha llegado tras realizar un análisis sobre el reconocido ingeniero.



*Ilustración 2 Cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón.*

## BIOGRAFÍA

## CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL

---

Julio Martínez Calzón, nacido en Valencia en el año 1938. Al finalizar el grado medio de ingeniería civil y territorial en Madrid, a mediados de 1962, se incorporó al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, donde ocupó el cargo de director de la sección de Ensayos Mecánicos durante nueve años.<sup>1</sup>

Su trayectoria profesional está íntimamente vinculada a la historia del actual Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, así como a la de la revista Informes de la Construcción, donde publicó diversos trabajos. Paralelamente, trabajó en un estudio de estructuras metálicas con el que fue su profesor de estructuras.<sup>2</sup>

Por aquel entonces, el instituto representaba un gran foco de influencia y de referencia para la tecnología ingenieril en nuestro país. Una vez dentro del Instituto Torroja, rápidamente su director de Departamento, el arquitecto Fernando Cassinello, confió en su joven experiencia y le encargó la dirección de la sección de Ensayos Mecánicos. Su camino por el Instituto determinó las líneas esenciales de sus actividades como ingeniero. En primer lugar, el conocimiento directo, a través de los ensayos sobre la materia resistente, y poder aprender cómo se comportan los materiales al deformarse. Y en segundo lugar, el poder haber trabajado y aprendido de grandes profesionales.<sup>3</sup>

Simultáneamente trabajaba por las tardes en el Estudio BABOR Ingenieros de estructuras metálicas, con los ingenieros especialistas en esta disciplina Juan Batanero y Ramiro Rodríguez-Borlado.<sup>3</sup>



*Ilustración 3 Universidad de Ingeniería Civil de Madrid.*

Al trabajar estrechamente con esos dos materiales diferentes, en el Instituto Torroja, con el hormigón y en el estudio de estructuras metálicas, con el acero, le surgió la inquietud de descubrir si era posible conectarlos mejor, unirlos mejor. Investigó y averiguó que los alemanes, varios años atrás, ya habían indagado sobre las estructuras mixtas. Y aunque no siguió la misma línea de trabajo que los alemanes, sino la suya propia, sabía que iba por buen camino.<sup>2</sup>

Fue reconocido como el principal pionero en la introducción de las estructuras mixtas en España. En 1966 traduce y adapta del alemán al castellano un libro sobre la materia, "Estructuras Mixtas. Teoría y Práctica", incorporando una serie de planteamientos personales.<sup>2</sup>

En 1963, se incorpora al ámbito de la docencia como profesor titular de Estructuras Metálicas y Mixtas en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y Santander, hasta 2003. Obtiene el Doctorado en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos con su tesis "Comportamiento plástico de las estructuras hiperestáticas de hormigón armado" por la Universidad Politécnica de Madrid en 1968.<sup>1</sup>



*Ilustración 4 Nave de ensayo, Instituto Torroja.*

En 1988 funda un estudio de ingeniería llamado MC2, en Madrid. Una consultoría especializada en el diseño y proyección de estructuras mixtas y singulares. Primando la innovación, la creatividad y logrando las soluciones más eficaces, convirtiéndola en una buena opción para los proyectos más complicados.<sup>4</sup>

Aunque su fundación data de finales de los años 80, el estudio está íntimamente ligado a toda la trayectoria y experiencia profesional de Julio Martínez Calzón.<sup>4</sup>

Desde sus comienzos, han sido numerosos los proyectos de gran envergadura realizados en su estudio, los cuales han influido considerablemente en el diseño de las estructuras de ingeniería civil y de edificación y, sobre todo, en el de las estructuras mixtas en nuestro país.<sup>4</sup>

Esto ha sido posible gracias al increíble conocimiento que tiene del funcionamiento de las estructuras adquirido por la experiencia profesional, en proyectos complejos y novedosos puentes metálicos, mixtos y de hormigón armado y pretensado; así como de singulares edificios, cubiertas y estructuras especiales.<sup>4</sup>

Desde 2012, el Estudio de Ingeniería MC2 pasa a formar parte del Grupo Tysa, consultoría con más de 50 años de experiencia en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil, arquitectura, industria, energías renovables y desarrollo rural.<sup>5</sup>



*Ilustración 5 Logo Estudio de Ingeniería MC2*

Junto con su gran compañero José Antonio Fernández Ordóñez, realiza algunas patentes, además de colaborar en numerosos proyectos a lo largo de los años y presentarse a diversos concursos. Por ejemplo, el concurso de “Paso superior sobre la castellana o Puente Juan Bravo” el cual ganan en 1968.

Su actividad profesional se ha centrado principalmente en la proyección de grandes puentes y estructuras singulares, fundamentalmente en construcción mixta. Ha diseñado y colaborado en la construcción de un gran número de edificios y infraestructuras de gran importancia.<sup>6</sup>

Ha presidido diferentes congresos sobre puentes al mismo tiempo que publicaba estudios y reflexiones en torno a diferentes aspectos de la ingeniería. Siempre se ha involucrado en la difusión de las nuevas formas de proyectar.<sup>6</sup>

Se define a sí mismo como un ingeniero humanista, en sus obras siempre tiene presente tres cosas: la técnica, la estética y la funcionalidad de la construcción. En cada proyecto que ejecuta piensa en el usuario, en que cada obra tenga una armonía con el paisaje, además de una mayor innovación estructural. Dando una nueva vida a las infraestructuras existentes.<sup>7</sup>

Finalmente, en 2015 se despidió de su larga y excelente carrera profesional para jubilarse.



*Ilustración 6 Paso superior sobre el Paseo de la Castellana.*

## LIBROS ESCRITOS

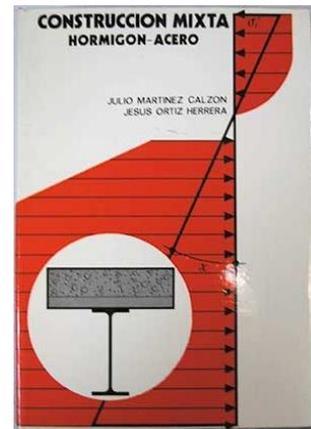
---

Como inquieto divulgador, siempre buscando mejorar y promulgar sus investigaciones e inquietudes, ha redactado multitud de artículos, tanto en la revista Informes de la Construcción como en otras plataformas. En sus escritos, siempre ha intentado enseñar su manera de entender las estructuras y como proyectar pensando en el paisaje. Como se puede observar en alguna de sus frases, "El paisaje es a la vista lo que la música al oído".

Como anteriormente se ha comentado, Julio Martínez Calzón ha redactado para la revista Informes de la Construcción, multitud de artículos, siempre con esta extraordinaria visión de las estructuras y buscando divulgar su afán por la innovación, expresándose siempre desde su experiencia profesional. En 2019, con motivo del 70 Aniversario de la revista, escribió un artículo rememorando su paso por el instituto Torroja y el espíritu innovador de aquella época.<sup>3</sup>

Como pionero en la introducción de las estructuras mixtas en España, su primer libro fue una traducción y adaptación del alemán al castellano, de un libro sobre la materia donde añade apreciaciones personales, titulado "Estructuras Mixtas: teoría y práctica" escrito en 1966. Antes de este libro, en España se desconocía esa nueva vertiente de la construcción mixta, que ya empezaba a ejecutarse en otros lugares de Europa.<sup>7</sup>

Tras investigar más sobre estos dos materiales y ver cómo trabajan conjuntamente, escribe un segundo libro en 1978, esta vez en colaboración con Jesús Ortiz Herrera, titulado "Construcción mixta hormigón-acero".



*Ilustración 7 Martínez Calzón, J.; Ortiz Herrera, J., 1978, Construcción mixta hormigón-acero.*

La culminación de su carrera llega en 2006, con la publicación de su libro “Puentes, estructuras, actitudes”. Se trata de una biografía profesional en la que explica gran parte de sus proyectos y donde expresa libremente sus inquietudes como divulgador. Es un acercamiento escrito y visual a la personalidad polifacética y a la notable trayectoria profesional y poco común de Julio Martínez Calzón.<sup>8</sup>

Desde su inicio como ingeniero en 1968 junto a José Antonio Fernández Ordóñez, con el puente de Juan Bravo sobre el Paseo de la Castellana, su carrera profesional ha sido un ejemplo de coherencia, buscando unir la técnica y el arte en todas sus obras. En el libro se pueden encontrar una selección de 26 puentes (casi todos en colaboración con el gran ingeniero José Antonio Fernández Ordóñez) sobre los ríos en Martorell, Valencia, Tarragona, Bilbao, Sevilla, Córdoba, San Sebastián, pasos en ciudades, viaductos para alta velocidad, y obras en Canadá y Uruguay. Y además, una selección de 24 estructuras para diferentes edificios de grandes arquitectos.<sup>8</sup>

Su forma de acercarse al puente es “muy dialéctica”, y explica desde las tipologías estructurales hasta los materiales y las formas utilizadas, siempre con una mirada a la cultura clásica y un afán por la innovación. La cultura clásica aparece en la tercera parte del libro, con textos, dibujos y poemas, completando los análisis de los puentes y estructuras.<sup>9</sup>



*Ilustración 8 Martínez Calzón, J., 2006, Puentes, estructuras, actitudes.*

Dado que siempre ha estado muy vinculado al mundo del arte durante los últimos cincuenta años, escribió un libro titulado “La pintura del siglo XIX”, publicado en 2017. Dicho libro recoge la información de un total de 1.245 pintores de la época, muchos desconocidos para la gran mayoría, abriendo así una vía de conocimiento dentro del mundo de la pintura, como una guía a la que poder acudir para consultar. <sup>2</sup>

Por último otras publicaciones:

-Puentes mixtos, en Comunicaciones y mesas redondas de las 1.ª, 2.ª y 3.ª Jornadas Internacionales (1993, 1996, 2002).

-Pabellón de España, Exposición Universal de Shanghái (2010).



*Ilustración 9 Martínez Calzón, J., 2017, La pintura del siglo XIX.*

## PATENTES

---

Junto con su gran compañero José Antonio Fernández Ordóñez, desarrollaron algunas patentes en 1974, estas son las patentes que redactaron juntos:

- UN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PREFABRICADA DE CONJUNTOS HORIZONTALES RESISTENTES.<sup>10</sup>

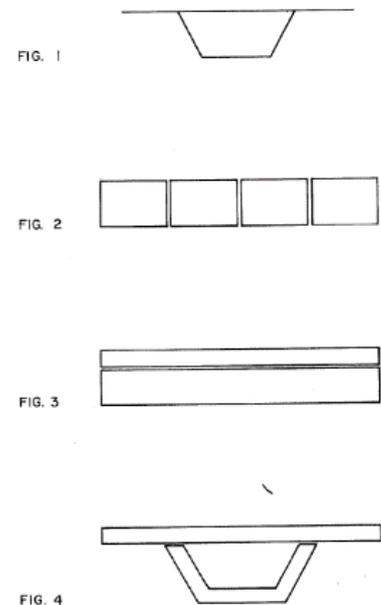
Número de publicación: ES0399147 A1 (01.12.1974)

El presente invento busca conseguir que los elementos prefabricados distribuidores actúen al mismo tiempo en las funciones de los elementos sustentadores principales.

El invento tiene muchas aplicaciones pero aquí se expone uno, a modo de ejemplo.

El conjunto sustentador final, tiene la sección de los puentes de vigas cajón (fig.1). La idea consiste en que el conjunto sustentador se fracciona por un plano horizontal en vez de planos verticales (fig. 2), por lo que la sección queda formada por dos partes. (fig. 3 y 4).

Este proceso tenía mayor utilidad que el que se usaba anteriormente, ya que permite relaciones isostáticas e hiperestáticas sin cimbras ni encofrados, sin exigir estribos que resistan estas sollicitaciones en voladizo y reduciendo al mínimo las realizaciones in situ.



*Ilustración 10 Diseño del procedimiento de construcción prefabricada de conjuntos horizontales resistentes.*

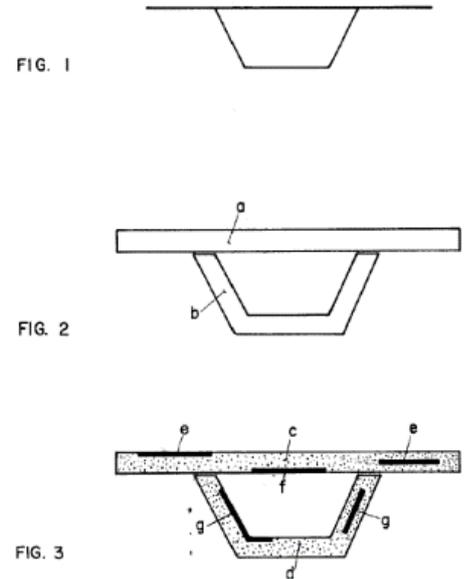
- PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE UN ELEMENTO RESISTENTE HORIZONTAL. <sup>11</sup>

Número de publicación: ES0399148 A1 (01.12.1974)

El presente invento trata de unas secciones mixtas de hormigón pretensado y acero estructural, en chapas o perfiles, con una reducción de peso con respecto a las secciones de hormigón pretensado. Reuniendo así todas las posibilidades de los elementos metálicos en las conexiones de los diferentes elementos que no tiene el hormigón pretensado. El acero estructural en chapa interviene en la transición de las tensiones entre las armaduras pretensadas y el hormigón y en las tensiones producidas por las solicitaciones

Con este procedimiento se consigue:

- Gran aligeramiento en las piezas prefabricadas.
- Facilidad en las uniones entre piezas prefabricadas.
- Facilidad para combinar estos elementos prefabricados, entre sí o con elementos puramente metálicos o de hormigón con conectores.
- Reducción de una gran cantidad de encofrados.
- Gran protección contra el fuego en estos elementos.



*Ilustración 11 Diseño del procedimiento de fabricación de un elemento resistente horizontal.*

Consiste en disponer de forma adecuada el acero estructural en la sección de hormigón, de manera que las tensiones al pretensar o postensar queden absorbidas por el hormigón, como por el acero estructural y durante el servicio también actúan simultáneamente las secciones de acero estructural, el hormigón y el acero de alta resistencia.

Como ejemplo, diseñaron una posible aplicación a este sistema con una sección de puente en viga cajón. La ejecución se realiza en dos partes, un tablero (a) y una pieza en canal (b). Los dos elementos están formados por hormigón pretensado y acero estructural en chapas.

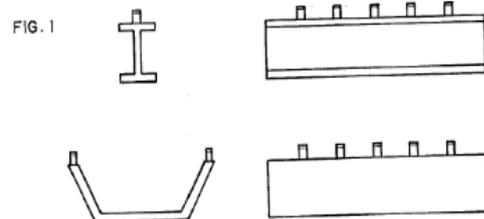
- UN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA DE CONJUNTOS HORIZONTALES RESISTENTES.<sup>12</sup>

Número de publicación: ES0399149 A1 (01.12.1974)

Las vigas pretensadas realizadas hasta el momento, con una zona superior de hormigón o mixtas de hormigón y acero, tienen la desventaja de que el hormigón debe hacerse in situ, por lo que limita las posibilidades de la prefabricación.

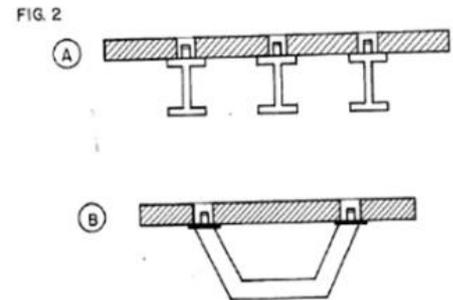
El siguiente invento pretende resolver ese problema, ya que se puede aplicar como un elemento prefabricado, suprimiendo al máximo el hormigón in situ, reduciéndose solo al hormigonado de los huecos que forman los alveolos y a las juntas transversales entre placas.

Por un lado, se consigue una máxima prefabricación de los elementos fundamentales del conjunto horizontal resistente, de vigas y placas, con una rápida y sencilla ejecución. Por otro lado, como los elementos son prefabricados se garantiza con mayor facilidad el control de calidad. Gracias a este sistema se ahorra en cimentación, apoyos, y en los plazos de construcción.



*Ilustración 12 Diseño de los conjuntos horizontales resistentes.*

Este procedimiento de construcción de conjuntos horizontales resistentes, consiste en la colocación de las vigas sobre unos apoyos definitivos o provisionales y seguidamente en la disposición de las placas sobre dichas vigas, ya sean pretensadas, metálicas o mixtas, de manera que los conectores de las vigas queden dentro de los alveolos de las placas. En el diseño puede verse la aplicación en vigas normales (A) y en vigas en cajón (B). Al hormigonar los huecos formados por los alveolos, como las juntas transversales entre placas, se obtiene una perfecta unión entre viga y placa, trabajando conjuntamente y consiguiendo así la formación estructural del conjunto horizontal resistente.



*Ilustración 13 Diseño de los conjuntos horizontales resistentes*

## PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

---

A lo largo de su carrera profesional, julio Martínez Calzón, ha recibido numerosos premios y reconocimientos.

En 1992 recibe la medalla al Mérito Profesional del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. El mismo año obtiene el título de Euroingeniero concedido por FEANI (European Federation of National Engineering Associations).

El 21 de septiembre de 1992, el jurado concedió el “Premio Internacional Puente de Alcántara”, en su III Convocatoria, a la obra “Torre de Comunicaciones de Collserola, Barcelona”. El autor de este proyecto es el arquitecto Sir Norman Foster quien, comparte el Premio con el ingeniero de caminos D. Julio Martínez Calzón.<sup>13</sup>

Ha sido el Director de las 3 ediciones que se celebraron en Madrid y Barcelona entre 1992 y 2001 de las Jornadas Internacionales sobre Puentes Mixtos.<sup>14</sup>

Además ha sido galardonado en varias ocasiones en el Salón Internacional de la Construcción-Construmat de Barcelona.

En el III Congreso de ACHE, la Asociación Española de Ingeniería Estructural, que tuvo lugar en Zaragoza, fue galardonado, junto con D. José María Arrieta Torrealba y D. Luis Peset González con la medalla de la asociación, que premia una carrera profesional relevante en el campo del hormigón estructural. Actualmente forma parte del Consejo de ACHE.<sup>14</sup>

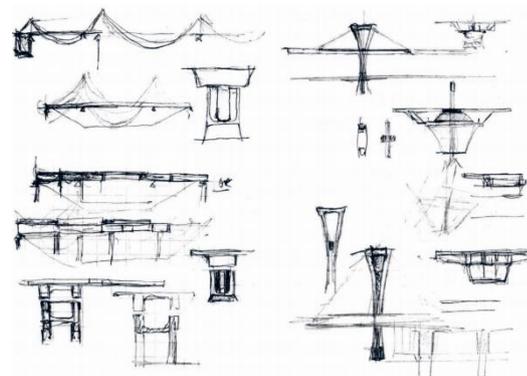
En 2017, recibe el más alto galardón de su carrera, el Premio Nacional de Ingeniería Civil del Ministerio de Fomento.<sup>15</sup>



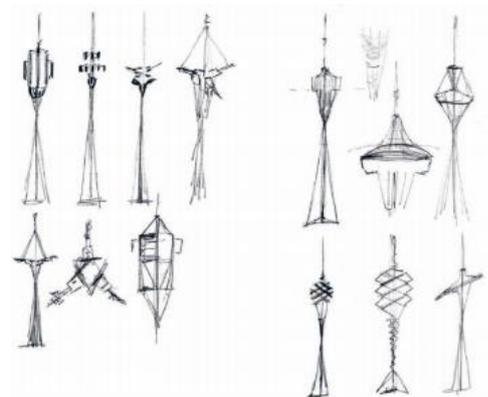
*Ilustración 14 Premio Nacional de Ingeniería Civil, 2017*

OBRAS EN LAS  
QUE HA  
PARTICIPADO

A lo largo de su carrera profesional, Julio Martínez Calzón ha diseñado y construido más de una veintena de puentes, tanto en España como en el extranjero. Muchos de los puentes que ha proyectado los ha realizado junto a su compañero José Antonio Fernández Ordóñez. Especializado proyectista de grandes puentes y estructuras de edificación singulares, fundamentalmente en construcción mixta, ha diseñado y colaborado en la construcción de multitud de edificios e infraestructuras de gran relevancia y complejidad.



Por otro lado, ha participado en el diseño, cálculo y construcción de las estructuras de destacados edificios, junto a importantes arquitectos como Moneo, Juan Navarro Baldeweg y José María García de Paredes. También ha colaborado con varios de los principales arquitectos internacionales, como Tadao Ando, Arata Isozaki, la sociedad Pei Cobb Freed & Partners, etcétera. Una de sus colaboraciones más icónica de su carrera, fue con el arquitecto Norman Foster en la realización de la Torre de Collserola en Barcelona, con la cual ganó el Premio Internacional Puente de Alcántara en 1992.



*Ilustración 15 Dibujos de los cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón.*

## DESCRIPCIÓN: ESTRUCTURAS MIXTAS

El Eurocódigo 4 define los elementos mixtos como “Elemento estructural compuesto por hormigón y acero estructural o conformado en frío, interconectados por conectores para limitar el desplazamiento longitudinal entre el hormigón y el acero, y el despegue de un componente del otro”.<sup>16</sup>

Aunque es frecuente referirse a elementos formados por acero y hormigón, también se utiliza esta expresión para las secciones formadas por madera y hormigón. Con carácter general se consideran elementos mixtos a aquellos formados por dos materiales que trabajan conjuntamente en la absorción de un esfuerzo.

Volviendo a las estructuras mixtas formadas por acero y hormigón, es frecuente utilizar este tipo de secciones en elementos sometidos a flexión en las que el acero, situado en la parte inferior, soporta los esfuerzos de tracción y el hormigón, más económico, soporta las compresiones.

También son elementos mixtos los soportes formados por un perfil metálico embebido en hormigón. Esta solución se utiliza para soportes sometidos a grandes esfuerzos, como ocurre en los edificios en altura, para minimizar las dimensiones de la sección.

La misión de los conectores es evitar los desplazamientos relativos entre los dos materiales para conseguir un trabajo conjunto de ambos materiales. Deben soportar esfuerzos rasantes.

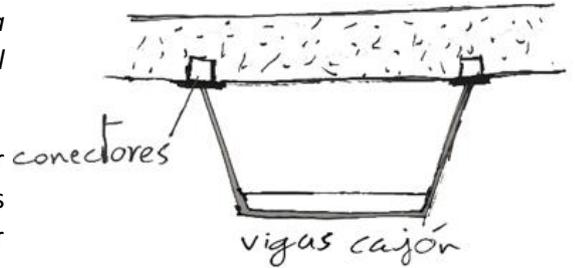


Ilustración 16 Esquema estructura mixta en vigas cajón. Elaboración propia.

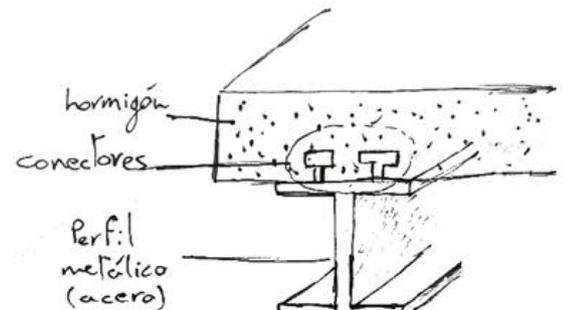


Ilustración 17 Esquema estructura mixta. Elaboración propia.

PASARELAS / PUENTES

A continuación, se exponen varias tablas a modo de resumen de los diversos puentes y pasarelas que ha realizado Julio Martínez Calzón con su estudio de ingeniería MC2, a lo largo de toda su carrera profesional. La mayoría con estructura mixta.

#### - PASARELAS:

*Tabla 1 Recopilación Pasarelas realizadas por Julio Martínez Calzón*

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Pasarela de conexión entre Estaciones Marítimas	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Puerto de Barcelona	1998
Pasarela en el Campus de As Lagoas Marcosende	EMBT. Enric Miralles y Benedetta Tagliabue	MC2 - Julio Martínez Calzón	Vigo	2003
Pasarela del Museo de la Ciencia	Rafael Moneo, Enrique de Teresa	MC2 - Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Río Pisuegra, Valladolid	2004
Pasarela de la Torre del Agua para la expo Zaragoza 2008	Enrique de Teresa	MC2 - Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Zaragoza	2008
Puente monumental de la Arganzuela	Dominique Perrault Architecture (Francia)	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	2011

#### - PUENTES:

*Tabla 2 Recopilación Puentes realizados por Julio Martínez Calzón*

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Puente Juan Barvo, sobre la Castellana	-	José Antonio Fdez. Ordóñez, Julio Martínez Calzón, Alberto Corral López Dóriga	Madrid	1968-1970
Puente del Diablo	-	José Antonio Fdez Ordóñez, Julio Martínez Calzón, Juan José Pifarré Merola	Martorell, Barcelona	1974
Puente sobre la Ría de Ciérvana	-	Julio Martínez Calzón	Bilbao	1978
Puente de acceso al Hipermercado de Henares	-	Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez Ordóñez	Madrid	1981
Puente de Tortosa sobre el río Ebro	-	Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Tarragona	1982
Puentes de Acceso a Pryca sobre Autovía A-2	-	Julio Martínez Calzón	Madrid	1982
Puente del Milenario	-	Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez Ordóñez	Tortosa	1983
Puente de la Calle Torrelaguna sobre la A-2	-	Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Madrid	1983

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Puente Felipe Juvara sobre la A-2	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Madrid	1987
Puente Fernando Reig	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez, Manuel Burón Maestro y Ángel Ortíz Bonet	Alcoy, Alicante	1987
Puente sobre el antiguo cauce del Turia	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Valencia	1989
Puente del Centenario sobre el Guadalquivir	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Sevilla	1991
Puente sobre el Turia	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Valencia	1991
Puente de Cerdeña	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1991
Puentes del Eje Transversal Vic-Girona	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1991
Puente del Arenal	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Córdoba	1991
Puentes de Vilobí d'Onyar y La Roca, sobre la A-7	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1993
Puente de Mengíbar sobre río Guadalquivir	-	Mc2 - Julio Martínez Calzón	Autovía Bailén-Jaén	1995
Puente en el Poligono de Granadilla	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Tenerife	1996
Pasarela para Transmediterránea en el Puerto de Barcelona	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1998
Puentes sobre los ríos Jemseg y Saint John	-	Julio Martínez Calzón	New Brunswick, Canadá	1999
Puente del Cinca	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez Ordóñez	Río Cinca. Línea de ferrocarril de alta velocidad Madrid-Barcelona	1999
Puente de Mundaiz	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez	San Sebastián	2000
Cuarto Puente sobre el Urumen	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez	San Sebastián	2000
Puente Basculante en el Puerto de Valencia	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Valencia	2001
Puente de Miraflores sobre el río Guadalquivir	Rafael Casado Martínez, Antonio Julio Herrero Elordi	MC2 - Julio Martínez Calzón	Córdoba	2003
Puente De la Américas	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez	Montevideo, Uruguay	2005
Puente sobre la ría de Santa Lucía	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Montevideo, Uruguay	2005

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Lanzamiento del viaducto de A.V.sobre el río Llobregat	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	2006
Puente sobre el río Nalón	-	MC2 - Julio Martínez Calzón, Álvaro Serrano Corral,	Asturias	2007
Viaducto para la línea 1 de metro	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Sevilla	2008
Puente del Estrecho de Paredes	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Cuenca	2008
Puente rotatorio del Puerto de Valencia	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Valencia	2009
Puente de Raos	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Santander	2009
Viaducto en el Ramal de A.V. Perafort-Alcover	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Tarragona	2011
Viaducto de alta velocidad sobre la calle Comercio	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	2012

## - REHABILITACIONES:

*Tabla 3 Recopilación Rehabilitación de Puentes*

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Rehabilitación del Puente sobre el río Jarama	-	Julio Martínez Calzón, José Antonio Fdez. Ordóñez	Madrid	1980
Rehabilitación del Puente sobre el río Alberche	-	Julio Martínez Calzón	Aldea del Fresno, Madrid	1982
Ampliaciones de luces en pasos superiores de carreteras	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	España	1991-1995
Rehabilitación del Puente de Tordera	-	MC2 - Julio Martínez Calzón	Tordera, Barcelona	1994

### **Puente Juan Bravo (Madrid, 1968)**

El primer puente mixto en España.



*Ilustración 18 Imágenes del Puente Juan Bravo.*

### **Puente sobre la ría de Ciérvana (Bilbao, 1978)**

El primer puente del mundo construido utilizando los sistemas con doble acción mixta.



*Ilustración 19 Imágenes del Puente sobre la ría de Ciérvana.*

### **Puente sobre el antiguo cauce del Turia (Valencia, 1989)**

El primer puente con pretensado exterior en España.



*Ilustración 20 Imágenes del Puente sobre el antiguo cauce del Turia.*

### **Puente del Arenal (Córdoba, 1991)**

El primer puente con recubrimiento de cobre.



*Ilustración 21 Imágenes del Puente del Arenal.*

### **Puente de Vilobí d'Onyar y La Roca sobre la A-7 (Barcelona, 1993)**

Puentes utilizando el cajón estricto mixto.



*Ilustración 22 Imágenes del Puente de Vilobí d'Onyar y La Roca sobre la A-7.*

### **Puente en el Polígono de Granadilla (Tenerife, 1996)**

El primero puente que utilizó el acero inoxidable con carácter estructural.



*Ilustración 23 Imágenes del Puente en el Polígono de Granadilla.*

EDIFICACIÓN

Seguidamente, se exponen unas tablas a modo de resumen de los diversos edificios que ha diseñado o ayudado en su estructura, Julio Martínez Calzón con su estudio de ingeniería MC2, a lo largo de toda su carrera profesional. Algunos de ellos se analizarán en profundidad más adelante.

#### - EDIFICIOS / TORRES:

*Tabla 4 Recopilación de edificios diseñados o colaboraciones realizadas por Julio Martínez Calzón.*

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Museo de Escultura Abstracta de la Castellana	-	Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez	Madrid	1971
Sala Villanueva en el Museo del Prado	-	Julio Martínez Calzón	Madrid	1978
Auditorio Nacional de Música	José María García de Paredes	Julio Martínez Calzón	Madrid	1984
Torre de Collserola	Norman Foster	MC2 - Julio Martínez Calzón, Manuel Julià Vilardell	Barcelona	1991
Torre de Telecomunicaciones y Pabellón Japón Expo 92	Guillermo Vázquez Consuegra	MC2 - Julio Martínez Calzón	Cádiz	1991-1993
	Tadao Ando	MC2 - Julio Martínez Calzón	Sevilla	1992
Museo Domus	Arata Isozaki, César Portela	MC2 - Julio Martínez Calzón	La Coruña	1995
Estaciones Marítimas Internacionales del Puerto	Rafael de Cáceres Zurita	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1998
World Trade Center	Pei, Cobb, Freed & Partners	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	2000
Museo de Altamira	Juan Navarro Baldeweg	MC2 - Julio Martínez Calzón	Santillana del Mar	2001
Diputación de Cantabria	Rafael Moneo	MC2 - Julio Martínez Calzón	Cantabria	2005
Los Teatros del Canal	Juan Navarro Baldeweg	MC2 - Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Madrid	2006
Torre Mare Nostrum (Gas Natural)	Miralles y Tagliabue. EMBT	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	2006

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Torre PwC (antes Torre Sacyr Vallehermoso)	Carlos Rubio Carvajal, Enrique Álvarez-Sala Walther (Rubio&Álvarez-Sala)	MC2 - Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Madrid	2007
Torre Espacio	leoh Ming Pei	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	2007-2008
Torre del Agua, Expo Zaragoza 2008	Enrique de Teresa, Francisco Romero EMBA	MC2 - Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro	Zaragoza	2008
Torre Diagonal Zero Zero	Enric Massip-Bosch	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	2010
Ampliación de la Estación de Atocha	Rafael Moneo	MC2 - Julio Martínez Calzón, Álvaro Serrano Corral	Madrid	2010

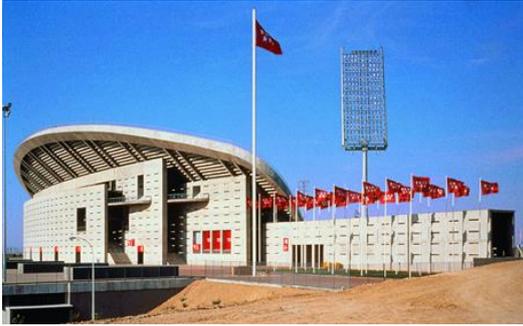
#### - CUBIERTAS / ESPACIOS DEPORTIVOS:

*Tabla 5 Recopilación de cubiertas y espacios deportivos realizadas por Julio Martínez Calzón.*

OBRAS	ARQUITECTO	INGENIERO	LUGAR	FECHA
Palau Sant Jordi	Arata Isozaki	MC2 - Julio Martínez Calzón	Barcelona	1990
Estadio Metropolitano	Cruz y Ortiz	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	1993
Estadio de la comunidad de Madrid	Cruz y Ortiz	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	1994
Pabellón Deportivo Infanta Cristina	Eduardo Elkouss Luski	MC2 - Julio Martínez Calzón, Juan Jesús Álvarez Andrés	Torreveija, Alicante	2000
Cubiertas en el Parque logístico de Barcelona	Ricardo Bofill	MC2 - Julio Martínez Calzón, Juan Jesús Álvarez Andrés	Barcelona	2001
Pabellón Multiusos Madrid Arena	Estudio Cano Lasso	MC2 - Julio Martínez Calzón	Madrid	2004
Palacio de Deportes de la comunidad de Madrid	Enrique Hermoso Lera	MC2 - Julio Martínez Calzón, AEPO Ingeniería	Madrid	2005
Edificio Foro Sur y Cubierta para la Feria de Valencia	José María Tomás Llavador	MC2 - Julio Martínez Calzón, Ginés Ladrón de Guevara Méndez	Valencia	2006

## Estadio de la Comunidad de Madrid, (Madrid, 1994)

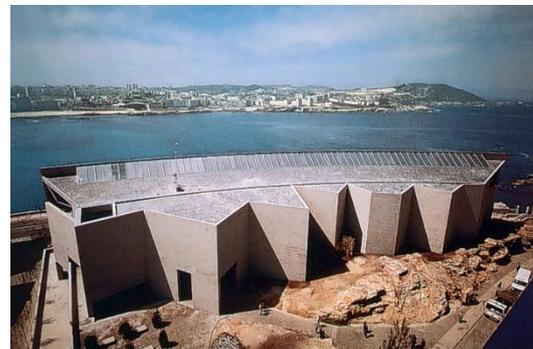
Arquitecto: Cruz y Ortiz



*Ilustración 24 Imágenes Estadio de la Comunidad de Madrid.*

## Museo Domus, (La Coruña, 1995)

Arquitecto: Arata Isozaki



*Ilustración 25 Imágenes del Museo Domus.*

**Torre Mare Nostrum (Gas Natural), (Barcelona, 2006)**

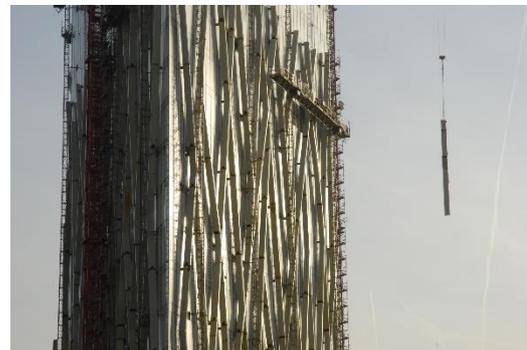
Arquitecto: Miralles y Tagliabue. EMBT



*Ilustración 26 Imágenes de la Torre Mare Nostrum.*

**Torre Diagonal Zero Zero, (Barcelona, 2010)**

Arquitecto: Enric Massip-Bosch. EMBA



*Ilustración 27 Imágenes de la Torre Diagonal Zero Zero.*

ANÁLISIS

## TORRE DE COLLSEROLA

---

**Arquitecto:** Norman Foster

**Ingeniero:** Julio Martínez Calzón, Manuel Julià Vilardell

**Construcción:** 1990-1992

**Localización:** Sierra de Collserola, Barcelona

La Torre Collserola, diseñada por Norman Foster, es uno de sus proyectos más importantes dentro de su carrera profesional. En este proyecto, Julio Martínez Calzón aplicó el procedimiento constructivo de elevación y telescopado<sup>1</sup>, es decir, en lugar de emplear grúas y sistemas de colocación de piezas, se elevó el edificio sobre sí mismo, se izó hasta su posición definitiva.

Este proyecto surgió de la necesidad de construir una estructura que reuniera todos los servicios de telecomunicaciones de Barcelona, por la celebración de las Olimpiadas de 1992. La Torre compartiría el nudo de servicio de televisión y radio para toda el área metropolitana de Barcelona. El mejor lugar donde realizar el proyecto y que alcanzara la altura, fue en la sierra de Collserola.<sup>17</sup>



*Ilustración 28 Torre de Collserola.*

---

<sup>1</sup> Mecanismo en las grúas torre, por el cual la grúa puede ser elevada sobre su propio mástil.

La Torre consta de tres partes: un esbelto fuste hueco de hormigón de tan solo 4,5 m de diámetro exterior y 3m interior, con un total de 205 m de altura, un mástil tubular de acero de 38 m donde se conectan las antenas y finalmente terminando con un tramo de celosía de 45 m. En el mástil, a 84 m se apoyan 13 plataformas de estructura metálica y mixta, donde están situados los equipos de telecomunicaciones y un mirador público. Estas plataformas están colgando de un sistema en la parte superior de 3 tirantes que transfieren su peso al fuste, y otro sistema de tirantes que lo anclan al suelo. Los tirantes del sistema superior son de aramida para evitar interferencias con las comunicaciones.<sup>18</sup>



*Ilustración 29 Construcción de la Torre de Collserola.*

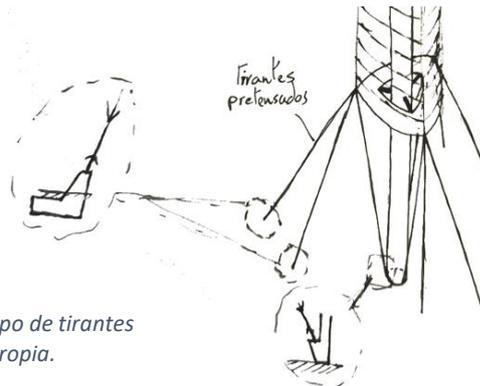
La mayor complejidad de este proyecto fue conseguir una estructura lo suficientemente liviana y que ocasionara el menor impacto posible al ecosistema de la montaña. Tras varias propuestas y análisis, se ideó una torre con un tubo mixto de hormigón y acero, con un diámetro de base de tan solo 4,5 metros, minimizando así el impacto de la torre en la ladera de la montaña de Collserola. Y teniendo en cuenta el aspecto aerodinámico exterior para enfrentar los fuertes vientos.

Otra de las dificultades del proyecto, fue tener que cumplir con el programa de realización de solo 24 meses, por lo que la construcción de las cubiertas de los ejes, mástiles y equipos se realizaron casi al mismo tiempo.<sup>18</sup>

## Descripción Estructural.

La estructura resistente del edificio está compuesto por diversos subsistemas estructurales diferentes: <sup>18</sup>

- Un núcleo interior constituido por un fuste cilíndrico hueco de hormigón de 205,5 m de altura.
- Una estructura metálica mixta, de planta anular en forma de triángulo equilátero de lados curvilíneos, situada alrededor del fuste de hormigón, donde se encuentran situadas las comunicaciones.
- Un conjunto de tres tirantes pretensados que fijan la torre al terreno. Cada grupo de tirantes se compone de tres elementos. Dos en dirección hacia el exterior y una hacia el interior. Los tirantes que dan hacia el exterior se encuentran anclados a un macizo de hormigón semienterrado y el que da hacia el interior se encuentra sujeto en la base de la torre. (Ver ilustración 30)
- Otros tres tirantes de fibra orgánica, de Aramid, enlazan la última plataforma metálica del edificio con la coronación del fuste de hormigón. Le dan la rigidez necesaria para limitar sus movimientos y facilitando su función como base fija para el soporte del mástil metálico.
- Un mástil metálico de 82,5 m de altura, corona la torre por encima del fuste de hormigón. Este mástil tiene una sección tubular que a medida que asciende va reduciendo su sección. A partir de los 38m, el mástil continúa en una celosía de sección cuadrada.



*Ilustración 30 Esquema grupo de tirantes pretensados. Elaboración propia.*

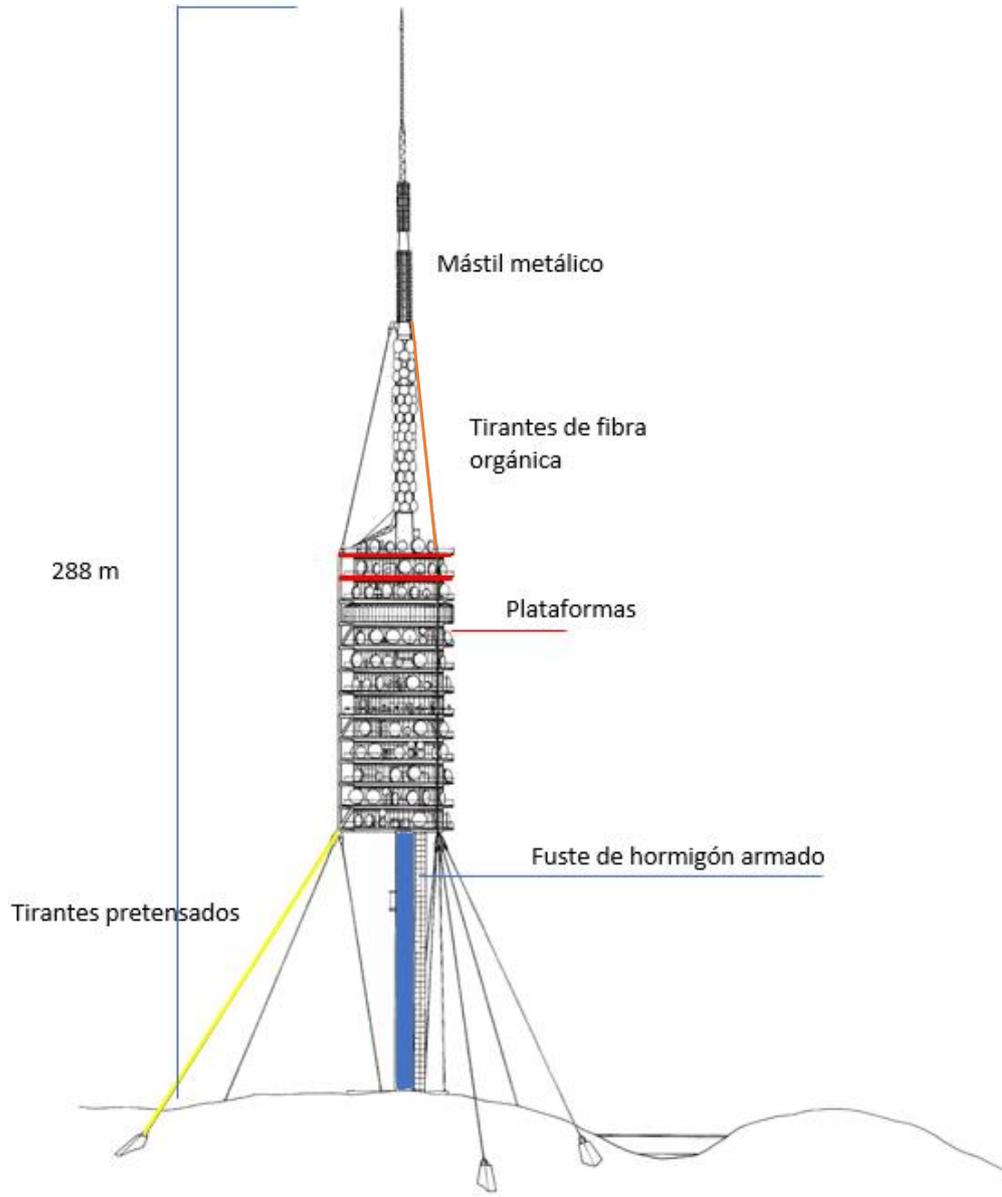


Ilustración 31 Elementos estructurales. Elaboración propia.

Todos los sistemas anteriormente mencionados se interconectan en una solución estructural híbrida y compleja, donde se ven con la combinación de los distintos materiales (hormigones, estructuras metálicas, tirantes de acero y de fibras orgánicas) trabajando en armonía. <sup>18</sup> (Ver ilustración 31)

El concepto básico estructural del edificio es situar a gran altura, una potente estructura metálica (las plataformas), alrededor del fuste cilíndrico de hormigón y vinculándolo al mismo. Esa estructura metálica actúa como un corsé rigidizante y arriostrante del elemento central (el fuste de hormigón). <sup>18</sup> (Ver ilustración 32)

El conjunto del edificio, se fija por tres grupos de tirantes pretensados, que a partir de este sistema inmobilizado, se fija el borde superior del fuste de hormigón a la estructura metálica, con tres cables superiores. Se obtiene en la cumbre del fuste a 205 m de altura un punto de mínima movilidad, a partir del cual surge el mástil metálico que sustenta el aparataje de la parte de audio de las comunicaciones, que requieren menores condiciones de deformabilidad. <sup>18</sup>

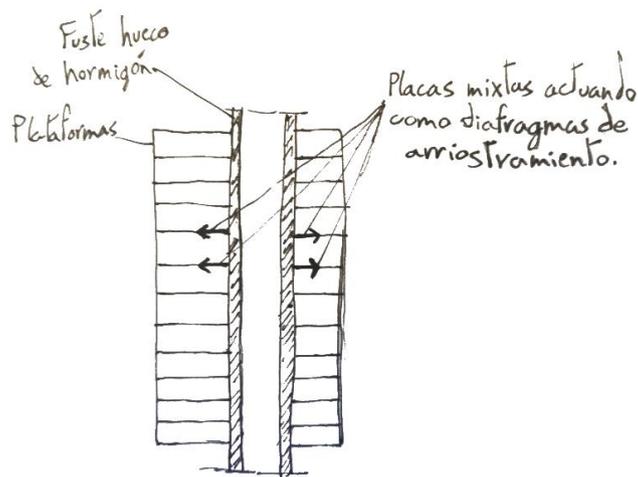


Ilustración 32 Esquema del funcionamiento estructural. Elaboración propia.

A modo esquemático se va a explicar el proceso tan riguroso que se siguió para construir la torre y sus fases.<sup>18</sup>

Fase 1: Se construye el fuste en voladizo, hasta los 98m. Llegado a los 47m, se introdujo en el interior el mástil metálico dividido en sección, una dentro de la otra, para su posterior izado.

Fase 2: Se colocan 3 tirantes pretensados provisionales a los 90m de altura, que permiten progresar con el deslizamiento del fuste hasta los 185m.

Fase 3: Se introducen otros 3 tirantes provisionales a los 180m de altura, permitiendo así, alcanzar la coronación a los 205,5m. Se retiran los primeros tirantes.

Fase 4: Se comprueba que con una sola familia de tirantes, el fuste no puede soportar el peso del edificio colgado, por lo que se añaden otros 3 tirantes. Estos últimos están anclados a la pieza metálica que realiza la transición entre el hormigón del fuste y la base metálica del mástil.

Fase 5: Se eleva pero sin asomar el conjunto de las dos partes del mástil.

Fase 6: El edificio metálico se eleva hasta su posición final.

Fase 7: Los cables definitivos van colocándose y retirando los provisionales.

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

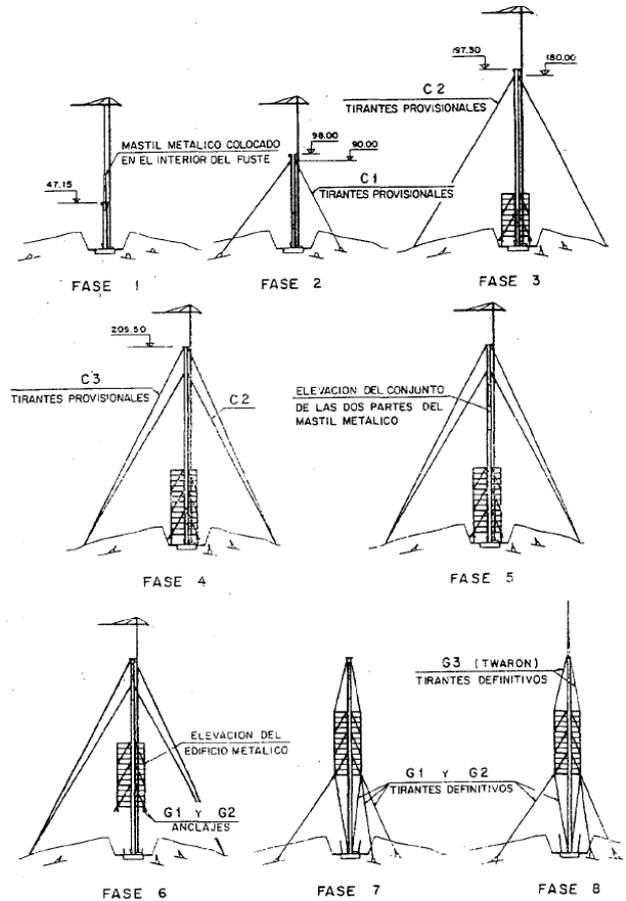
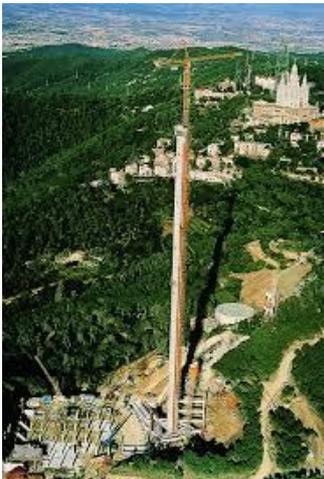


Ilustración 33 Fases principales del proceso constructivo.

Una de las singularidades de este proyecto, como ya se ha mostrado, está en el proceso constructivo. Las plataformas se construyeron en la cota del terreno, simultáneamente al fuste debido al corto plazo de construcción impuesto. Y posteriormente las plataformas fueron elevadas, hasta su posición definitiva.<sup>18</sup>

En la actualidad, la Torre de Collserola sigue en funcionamiento, aunque el mirador se encuentra temporalmente cerrado.



*Ilustración 34 Proceso constructivo de la Torre de Collserola.*

## PALAU SANT JORDI

**Arquitecto:** Arata Isozaki

**Ingeniero:** Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez

**Construcción:** 1983-1990

**Localización:** Barcelona



*Ilustración 35 Palau Sant Jordi.*

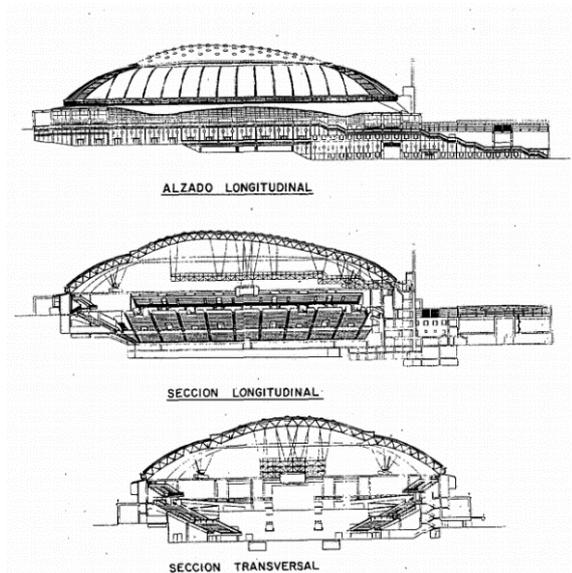
El Palau Sant Jordi fue construido en Barcelona como parte del complejo olímpico para los Juegos de 1992. El complejo que constituye el Palau, está formado por tres cuerpos conectados entre sí, cuyas dimensiones totales conforman un conjunto de 210 x 135 m.

Lo más destacado de este proyecto es su gran cubierta principal por su gran dimensión y complejidad. Pero el Palau de Sant Jordi, engloba también un gran espacio de uso público polivalente de interés, que se expondrá más adelante. Como se ve en la sección longitudinal, pueden identificarse los tres cuerpos principales del conjunto: <sup>19</sup>

Inferior: El Pabellón auxiliar polivalente.

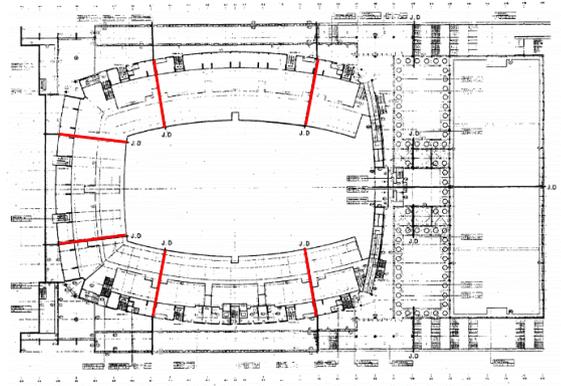
Medio: Los Patios y atrios del conjunto de instalaciones y servicios.

Superior: Los Graderíos y cubiertas de la pista principal.



*Ilustración 36 Alzado y secciones.*

Dadas las grandes dimensiones del complejo se dispusieron unas juntas de dilatación, influyendo así de manera considerable en los sistemas estructurales, surgiendo en algunos puntos, soluciones singulares. En la planta (Ver ilustración 37), pueden apreciarse las juntas de dilatación dispuestas en el proyecto.<sup>19</sup>



- Cuerpo Inferior:

El Pabellón Polivalente, es una gran sala de 101 x 36 m, en planta y 15 m de altura. Tiene una cubierta plana que está construida por cerchas especiales de tipo triangular-trapezoidal.<sup>19</sup>

*Ilustración 37 Plano en planta con las juntas de dilatación.*

- Cuerpo Intermedio:

El cuerpo de unión entre las dos grandes salas, la polivalente y la principal. En el residen todas las instalaciones y servicios del complejo deportivo. Tiene una altura equivalente a 10 plantas y consta de un elemento característico: una doble chimenea de servicio de la central térmica del complejo, que fue un desafío constructivo, ya que se tenía que construir una vez terminadas las coberturas de las dos salas y sin poder utilizarse ninguna grúa adecuada.<sup>19</sup>

- Cuerpo Superior:

El cuerpo principal. Toda su estructura, menos las cubiertas están construidas por pórticos de hormigón armado. El forjado es unidireccional, aligerado con bloques de hormigón, y en la escalera, en las rampas y en las zonas periféricas se han utilizado losas macizas de hormigón. Posteriormente, en algunas zonas se han construido forjados mixtos con vigas metálicas y forjados mixtos de chapa plegada para palcos.<sup>19</sup>



*Ilustración 38 Palcos y construcción de la cubierta principal.*

- Cubierta principal:

Lo más destacado del proyecto, tanto por sus grandes dimensiones como por la gran singularidad del método de construcción utilizado para llevarla a cabo. Posee unas dimensiones de 128 x 106 m y una altura 45m desde el piso de la arena hasta la parte superior. La cubierta destaca por una geometría compleja y un diseño arquitectónico exquisito, por parte de Arata Isozaki. Dicha cubierta fue construida bajo el método PANTADOME. Este sistema fue desarrollado por el prestigioso ingeniero Mamoru Kawaguchi, consultor de Arata Isozaki, y se basa en la elevación desde el suelo, de la cubierta ya construida con anterioridad, mediante un sistema de rótulas, torres y gatos.<sup>19</sup>

La estructura de la cubierta está compuesta por una malla espacial de doble capa de 2, 40 m de espesor y constitución híbrida, una combinación de dos conceptos estructurales diferentes. Por un lado, el entramado espacial principal continuo, constituido por grandes piezas tubulares. Por otro lado, un conjunto de malla espacial común, industrializado, constituido por nudos esféricos y barras tubulares.<sup>19</sup>

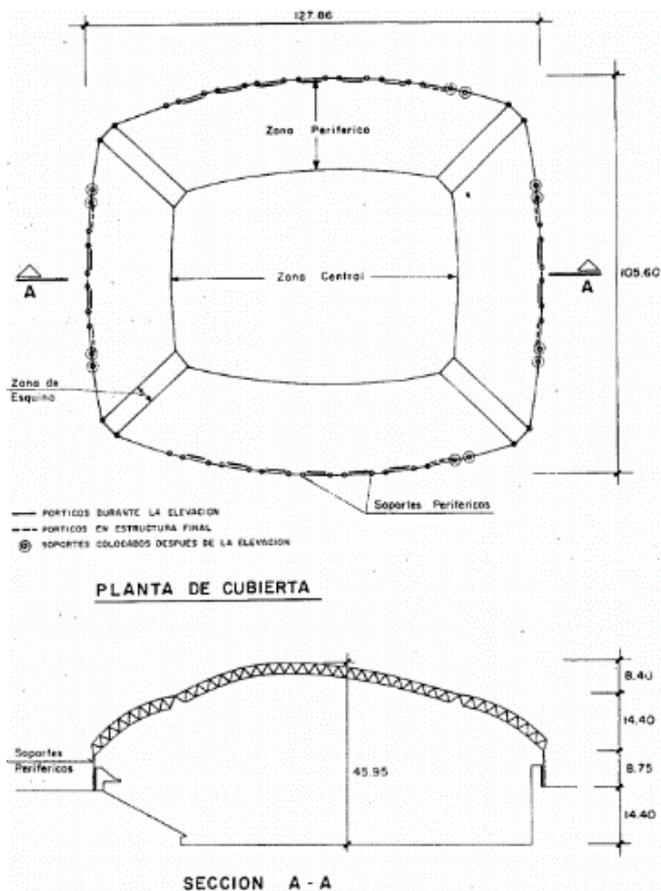


Ilustración 39 Geometría y dimensiones de la cubierta principal.

## Descripción Estructural.

La estructura de la cubierta está compuesta por una malla espacial de doble capa de 2, 40 m de espesor y constitución híbrida, una combinación de dos conceptos estructurales diferentes. Por un lado, el entramado espacial principal continuo, constituido por grandes piezas tubulares. Por otro lado, un conjunto de malla espacial industrializado, constituido por nudos esféricos y barras tubulares. Estas mallas espaciales actúan como sobreestructura conectada al sistema principal desarrollan un trabajo resistente de tipo membrana, es decir, que la mayor parte de sus esfuerzos son canalizados de forma axil en el interior de las propias superficies y con muy pocas flexiones, ósea sin esfuerzos transversales a su superficie.<sup>19</sup>

Las reacciones de estas subestructuras son absorbidas por el esqueleto principal y conducidas directamente hasta los apoyos exteriores.

La cubierta principal se subdivide de la siguiente manera: (Ver ilustración 39)

- Una zona central de 73 x 50 m, con forma de cúpula rebajada, asimetría longitudinalmente.
- Una zona periférica, situada entre la cúpula central y el contorno exterior del graderío.

El sistema tubular principal lo constituyen:<sup>19</sup>  
(Ver ilustración 40)

- Cuatro anillos que siguen los contornos rectangulares curvilíneos, dos para cada contorno.
- Cuatro elementos de esquinas que unen entre sí, dos a dos, los anillos.
- Un conjunto de 60 soportes perimetrales pendulares vinculados al anillo inferior, exterior y que transfieren todas las cargas a los apoyos.

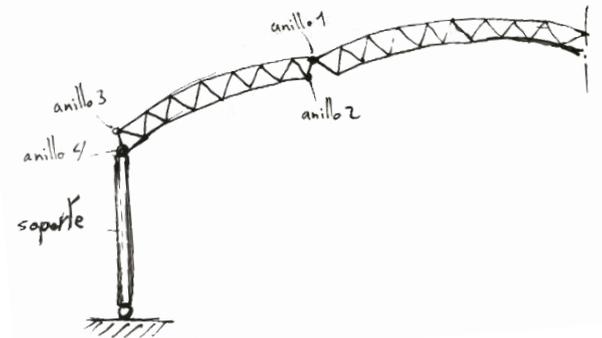


Ilustración 40 Esquema sistema tubular principal. Elaboración propia.

La conducción de los esfuerzos de la cubierta puede verse con la combinación de dos mecanismos: <sup>19</sup> (Ver ilustración 41)

-Las fuerzas aplicadas a la zona central determinan un trabajo membranal reaccionando sobre el anillo de borde del sistema principal, constituido por un gran tubo soldado. Este anillo nº1, traccionado se incorpora al segundo mecanismo.

-Las zonas periféricas reciben en su cordón del contorno interior superior, formado por el mismo anillo nº1, las acciones de la zona central, reaccionando como lo haría un conjunto de cuatro vigas de gran canto solicitadas en su plano: fuertes tracciones en las barras del perímetro exterior, elemento principal construido por dos tubos soldados vinculados entre sí; compresiones en los anillos 1 y 2 superiores; y compresiones en las barras diagonales extremas del sistema principal dispuestas en las esquinas.

La estructura global del conjunto reajusta los esfuerzos en la cúpula central y trasmite parte de las cargas a los soportes periférico. La propia rigidez interna y autónoma de la cubierta permite resistir las acciones horizontales de viento y sismo. Adoptando un doble juego de pórticos periféricos, situados en los cuatro lados del perímetro exterior de la cubierta, y obtenido al unir rígidamente, mediante dinteles, dos a dos los soportes, se consigue transferir las resultantes de este grupo de acciones hasta la sustentación exterior en las estructuras de hormigón. <sup>19</sup> (Ver ilustración 41)

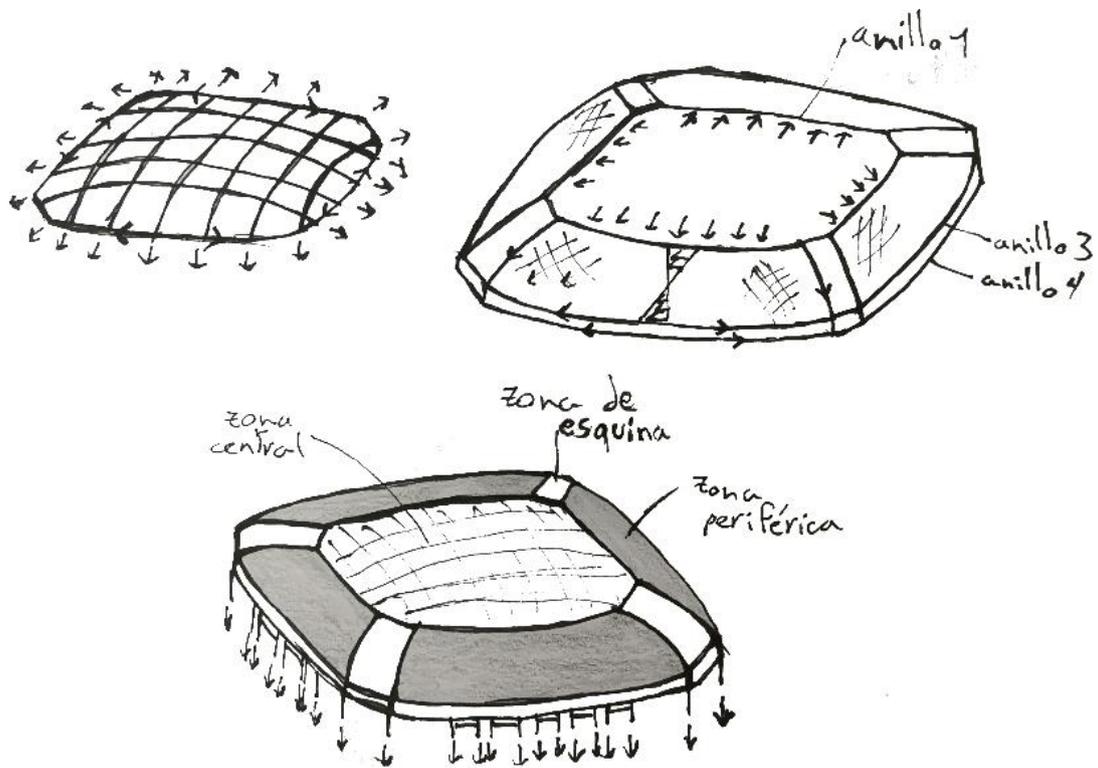
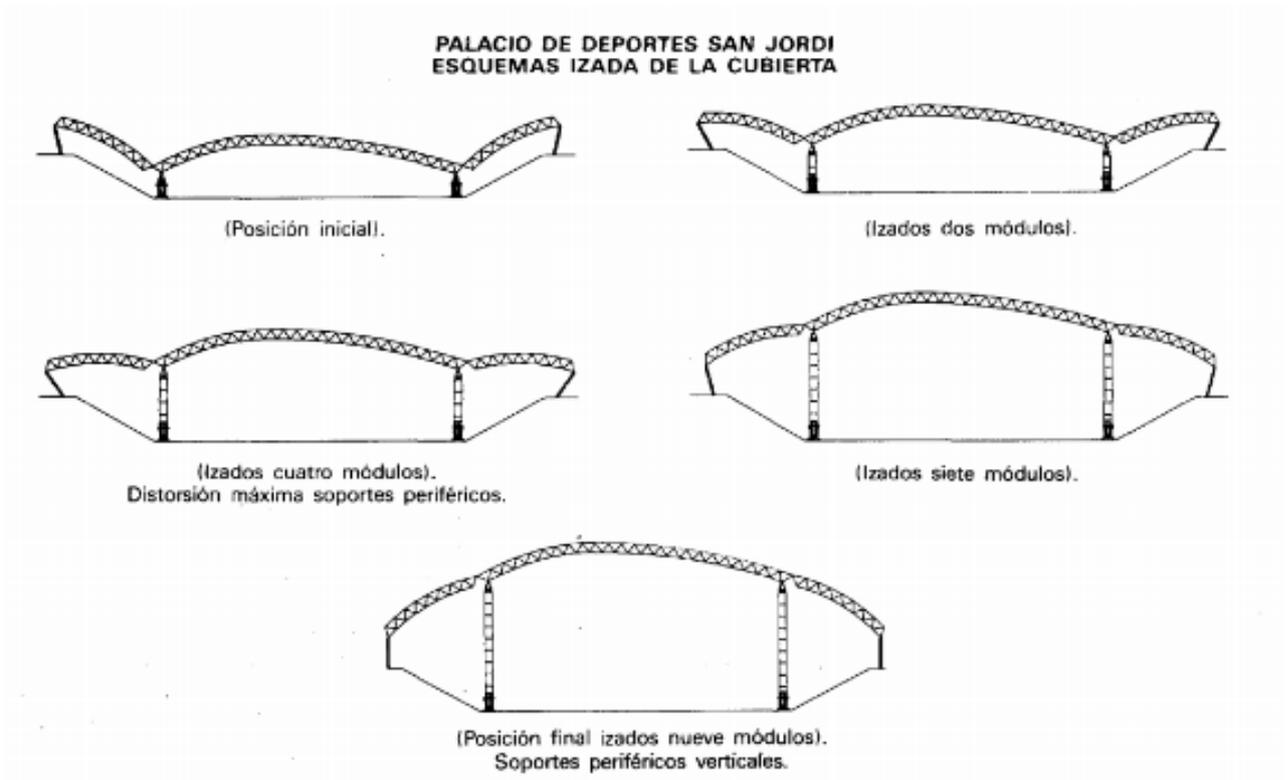


Ilustración 41 Cargas transmitidas de la cubierta.

## Proceso de elevación de la cubierta principal <sup>20</sup>



*Ilustración 42 Esquemas del proceso de elevación.*

La realización de la cubierta con un proceso de elevación tan complejo, requiere una gran precisión geométrica de todos sus elementos, para permitir que funcione libremente la movilidad del conjunto y se logren las grandes dislocaciones de las rótulas provisionales y definitivas que conectan las diversas partes durante el proceso.

El momento de elevar la cubierta principal fue el proceso constructivo más complejo e interesante, dada sus grandes dimensiones y su dificultad.

El método PANTADOME de ejecución por elevación de la cubierta, se planteó de la siguiente forma:<sup>19</sup>

1. La zona central de la cubierta se realizó en su totalidad en la posición más próxima posible al suelo. Incorporando en ese momento todos los materiales, las instalaciones, pasarelas, accesos, situadas en la cubierta o colgando en ella. Las zonas laterales se construyen divididas por sectores, separadas por pequeñas franjas. La unión entre la estructura central y las particiones perimetrales se realiza mediante rótulas soldadas al anillo nº1.
2. Los soportes periféricos, aislados o combinados por parejas, se disponen suficientemente inclinados hacia el interior del recinto, de manera que los gajos de la zona quedan posicionados apoyados en ellos, a través de las rótulas superiores de los soportes, y en las rótulas del anillo nº1.

Este proceso fue una maniobra que requirió una plena cooperación entre los equipos encargados de elevar cada uno de los soportes. Una ejecución de gran complejidad que dio resultados excelentes.

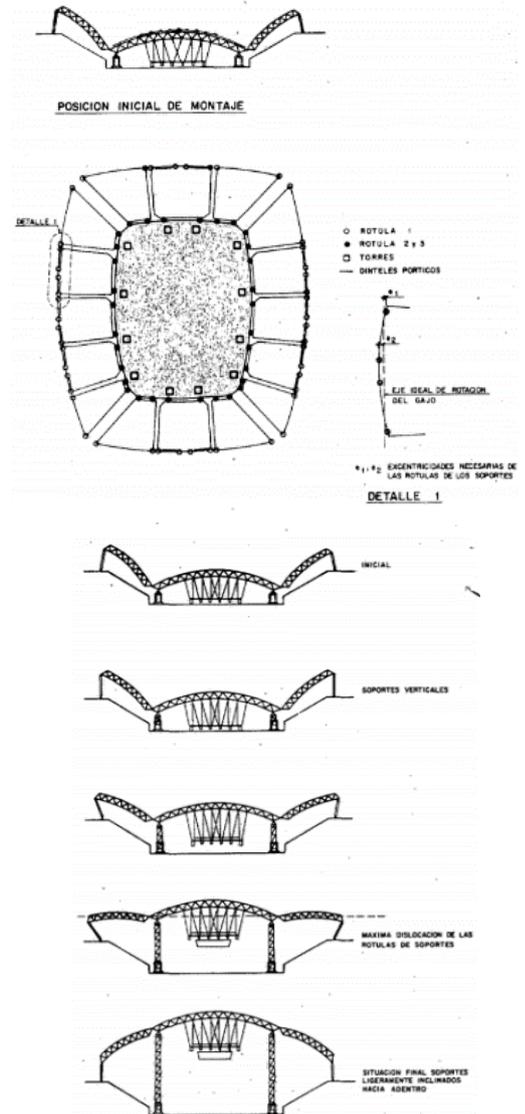


Ilustración 43 Proceso de elevación.

## TORRE DEL AGUA

---

**Arquitecto:** Enrique de Teresa

**Ingeniero:** Julio Martínez Calzón, Miguel Gómez Navarro

**Construcción:** 2008

**Localización:** Zaragoza

La Expo de Zaragoza, 2008 tenía como tema principal “Agua y desarrollo sostenible”, por lo que el edificio central de la muestra fue la Torre del Agua, de 76 m de altura y con forma de gota de agua vista en planta. Esa forma tan singular hace que el edificio se perciba de manera diferente dependiendo del punto de vista en el que estés.<sup>21</sup>

La estructura de la Torre del Agua es un ejemplo de compenetración entre estructura y arquitectura, ya que todos los elementos estructurales están vinculados a la funcionalidad del edificio y a su percepción formal. Este gran proyecto ha sido posible gracias al entendimiento y cooperación entre arquitectos e ingenieros, tanto en la fase de concurso, como durante la ejecución del proyecto. Se ha conseguido de este modo, una compleja estructura que resuelve las exigencias con respecto a la considerable altura del edificio y los escasos recursos estructurales que tiene en su interior.<sup>22</sup>



*Ilustración 44 Torre del Agua.*

El edificio consta de dos partes muy diferenciadas, el zócalo que ocupa toda la parcela en forma trapezoidal y la torre propiamente dicha, donde se desarrolla el programa.

Los dos elementos fundamentales que definen la singularidad de este edificio son: <sup>22</sup>

- El espacio vacío interior en el que se sitúan los espacios expositivos separados por una plataforma.
- Las rampas interiores y los parasoles exteriores que, acompañan a la fachada y marcan el ritmo del edificio.

A continuación, se procede a exponer las partes estructurales más relevantes y el proceso constructivo del edificio.

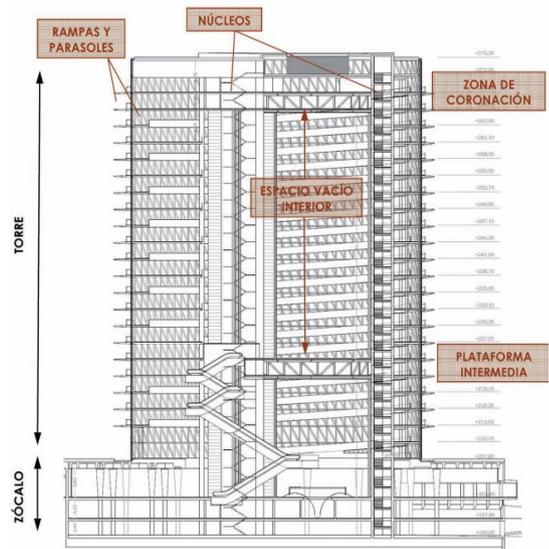


Ilustración 45 Distribución de usos de la Torre.

### El zócalo:

Los dos niveles inferiores, se resuelven mediante losas macizas de hormigón armado apoyadas en una trama regular de soportes circulares de hormigón armado.

El forjado que remata el zócalo reproduce el espacio vacío que hay en el interior de la torre, facilitando la relación entre los distintos niveles del edificio: rampas, escaleras, ascensores de acceso, etc.<sup>21</sup>

En el perímetro del hueco es donde se coloca el apoyo de la estructura de la fachada. Los elevados valores de las cargas transmitidas por la torre y la estructura de la fachada, hace necesaria la ejecución de un forjado nada convencional, mediante una losa de hormigón armado nervada con una malla triangular adaptada a la geometría de la parcela.<sup>22</sup>



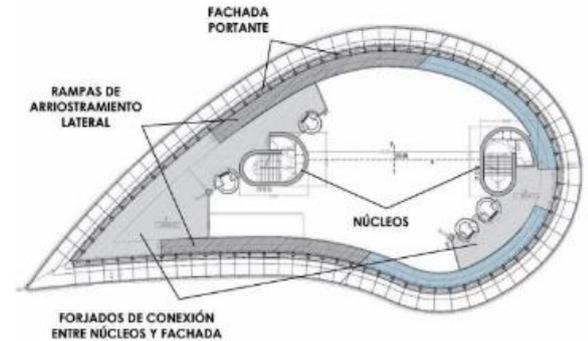
Ilustración 46 Vista aérea general del forjado nervado durante su ejecución.

### Configuración estructural de la torre:

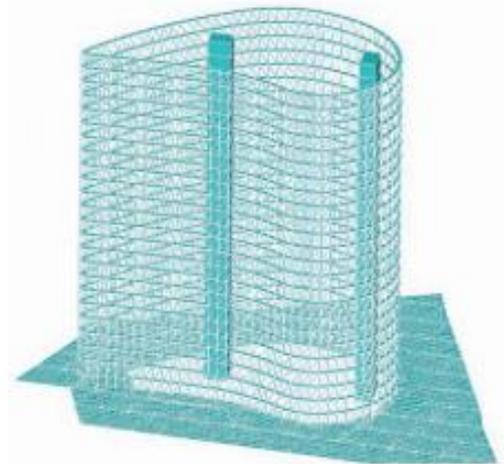
La torre consta de una combinación de diferentes sistemas estructurales. Se trata de dos núcleos de hormigón combinados con una celosía metálica espacial triangular de vidrio en fachada que engloba el volumen interior, vacío y una escasa superficie de forjado. Además cuando se diseñó el proyecto, se tuvo en cuenta los posibles cambios que podía exigir el edificio tras la Exposición Internacional, haciendo posible la construcción de varias plantas en su interior, y la posibilidad de ampliando en altura el edificio, si fuese necesario.<sup>21</sup>

Estructuralmente hablando, la torre consta de diferentes combinaciones de sistemas en función de las necesidades. Lo más destacable del edificio es el gran volumen vacío interior que tiene, donde se desarrolla el contenido del Pabellón temático. Por defecto, la estructura se sitúa casi en su totalidad en la fachada. Como ya se ha comentado anteriormente, esta estructura es una celosía espacial triangular que sigue la forma en planta del edificio y que está arriostrada por dos rampas helicoidales proyectadas en estructura mixta.<sup>22</sup>

Estas rampas abrazan todo el perímetro interior de la fachada. La estructura de la fachada, también se encuentra unida con un par de núcleos cilíndricos de hormigón armado. El conjunto de sistemas estructurales se completa con dos soportes secundarios de hormigón armado, encargados de absorber todas las cargas horizontales y verticales. Los dos sistemas estructurales principales (fachada y núcleos) se conectan entre sí por medio de un conjunto de forjados de hormigón armado.<sup>22</sup>



*Ilustración 47 Esquema en planta con los principales elementos estructurales.*



*Ilustración 48 Modelo completo de elementos finitos de la Torre.*

## Estructura de la fachada y rampas internas

La estructura de la fachada está formada, como ya se sabe, por una celosía espacial que sigue el perímetro del edificio. Estas celosías están formadas por triángulos rectos con placas de vidrio y lamas parasol. Los elementos metálicos son perfiles abiertos que se adaptan a lo largo de la altura del edificio.<sup>21</sup>

Esta estructura hace posible la división horizontal, añadiendo diversos forjados, según las necesidades del momento, además de resaltar la sensación de ligereza del edificio.<sup>21</sup>

La estructura está diseñado teniendo en cuenta que las rampas internas la arriostran y reducen los efectos de la inestabilidad por pandeo.<sup>22</sup>

El forjado mixto de las pasarelas tiene dos funciones estructurales:

- Resistir las cargas gravitatorias verticales propias, apoyado en vigas metálicas en voladizo empotradas en la estructura de la fachada.<sup>22</sup>
- Trabajar como viga plana apoyada en los forjados de hormigón armado de los descansillos. Además, debiendo transmitir las cargas producidas por el viento desde la fachada a los forjados de los descansillos, para que así, las fuerzas de viento puedan incorporarse al sistema estructural global formado por los núcleos y la fachada.<sup>22</sup>



*Ilustración 49 Vista exterior de la estructura de la fachada.*



*Ilustración 50 Tramos inferiores de la estructura de la fachada.*

### Descripción Estructural.

El esquema estructural adoptado responde a la idea básica de conseguir una perfecta simbiosis entre el sistema resistente y la arquitectura del edificio. Para ello, la solución se basa en el empleo de ‘megaestructuras’; sistemas estructurales unitarios que aprovechan al máximo las dimensiones exteriores del edificio acoplándose a sus formas.<sup>23</sup>

El zócalo parcialmente hueco, se compone de tres plantas, dos subterráneas y una sobre el nivel del suelo. Sobre esta base se eleva la torre de 70 metro. Toda la construcción de este edificio demuestra una gran complejidad técnica, ya que la «piel» de la fachada, también realiza la función de elemento estructural de la torre. Dicha fachada transmite todo su peso al zócalo, donde se apoya en un forjado triangular.<sup>24</sup> (Ver ilustración 51)

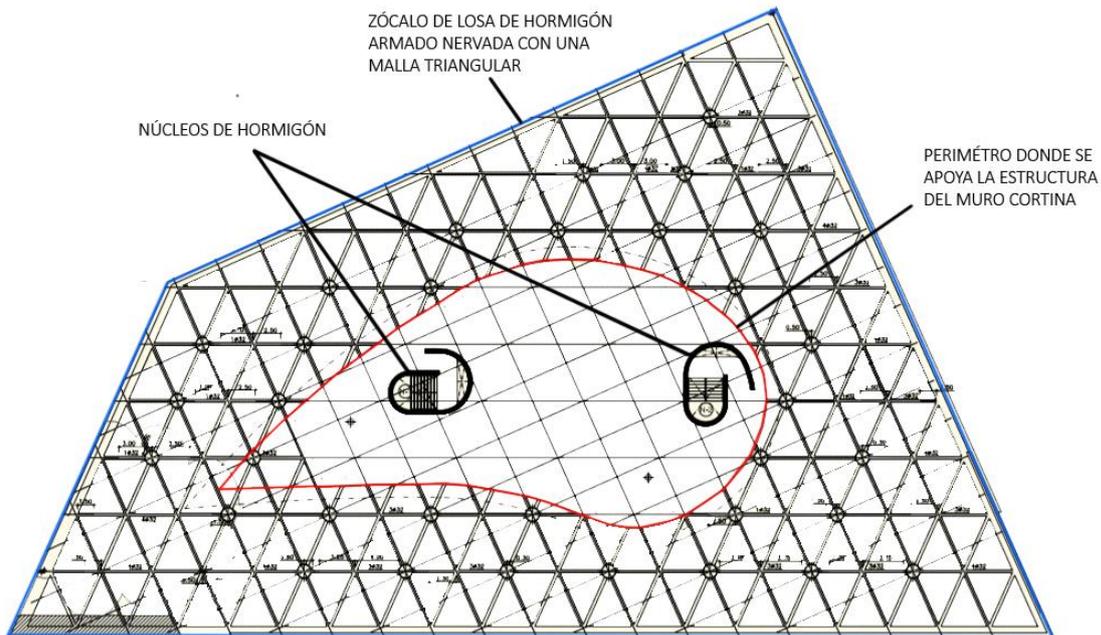


Ilustración 51 Esquema estructural del zócalo en planta. Elaboración propia.

El núcleo de la torre está formado por dos columnas de hormigón, que soportan las escaleras y los ascensores. Alrededor de este núcleo, se establece un sistema de comunicaciones con dos rampas helicoidales que se entrecruzan y que alcanzan hasta las dos últimas plantas del edificio. Siguiendo la disposición de estas rampas se colocan las lamas de trámex de acero galvanizado que actúan como parasol, protegiendo el interior de la luz directa del sol. Finalmente, el cerramiento exterior se compone con un muro cortina, realizado a partir de placas de vidrio montadas sobre una estructura metálica perimetral, trabajando como elemento estructural, ya que arriostra y sujeta los núcleos de hormigón. La estructura se localiza fundamentalmente en la fachada que resiste las cargas verticales gravitatorias y las cargas horizontales del viento. Aunque las rampas en estructura mixta, también ejecutan su labor estructural al estar arriostradas a la fachada reduciendo las deformaciones por pandeo de la fachada.<sup>24</sup> (Ver ilustración 52)

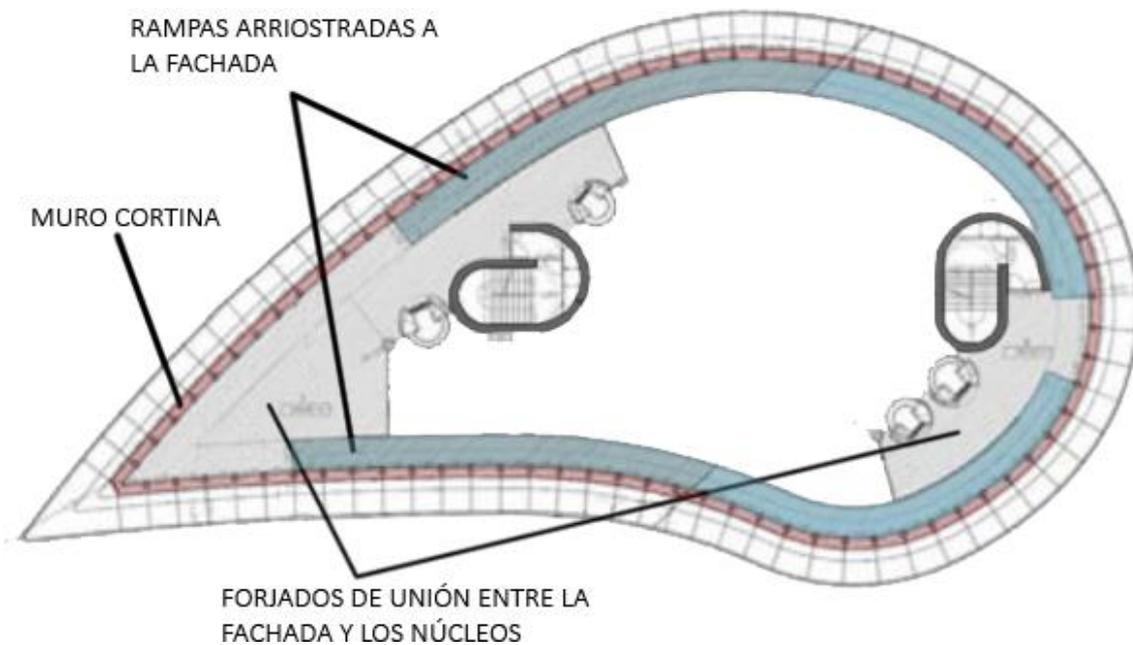


Ilustración 5895 Esquema del conjunto estructural en planta. Elaboración propia.

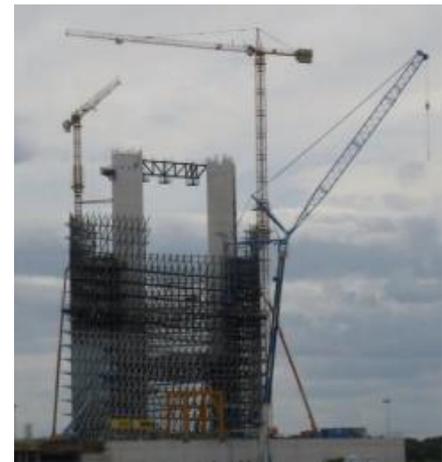
**Las principales etapas de la construcción** de la torre son las siguientes: <sup>22</sup>

- Ejecución de la losa de cimentación y plantas inferiores del zócalo.
- Finalización de la construcción del zócalo con el forjado nervado.
- Inicio de la construcción de los dos núcleos de hormigón armado mediante encofrados trepantes.
- Instalación de la estructura metálica de la fachada de módulos preparados previamente en taller.
- Construcción autoportante de los forjados mixtos de las pasarelas.
- Ejecución convencional apeada de los forjados de hormigón que conectan la fachada con los núcleos.
- Montaje con grúas de las celosías principales que constituyen las plataformas intermedias inferior y superior tras su premontaje en obra; montaje con los mismos medios de las celosías transversales y ejecución autoportante de los forjados mixtos. <sup>22</sup>
- Construcción de los forjados de hormigón armado de la zona superior apoyados en la plataforma superior.

Un momento crucial de la obras fue la ejecución de la estructura metálica, lo paneles en vertical. Fue una maniobra delicada en la parte alta de la torre al no poder disponer de una plataforma horizontal próxima en la que anclar los tirantes y los trácteles para aplomar los módulos antes de su soldeo con los ya ejecutados. <sup>22</sup>



*Ilustración 53 Imagen durante el proceso de ejecución.*



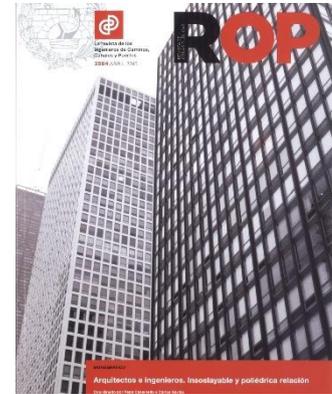
*Ilustración 54 Proceso de ejecución.*

CONCLUSIONES

Julio Martínez Calzón, con la introducción en nuestro país del uso de estructuras mixtas, nos puso al mismo nivel constructivo e innovador de otros países como Alemania.

Se ha constatado el gran aprendizaje, tanto teórico como personal, que le supuso trabajar tanto en el Instituto Torroja durante sus inicios, como con el Estudio BABOR. Estas dos experiencias, despertaron en él ese interés por combinar esos dos simples materiales, hormigón y acero, y crear una nueva manera de proyectar estructuras.

Durante este trabajo, se ha mostrado que el uso de las estructuras mixtas le ha posicionado como un pionero y gran referente en este tipo de estructuras. Con la construcción de puentes de gran envergadura y complejidad, ha dotado a la ingeniería española de un alto reconocimiento internacional. Los galardones y premios recibidos a lo largo de toda su trayectoria profesional, son solo un pequeño ejemplo de su gran aportación en el campo de la ingeniería civil.



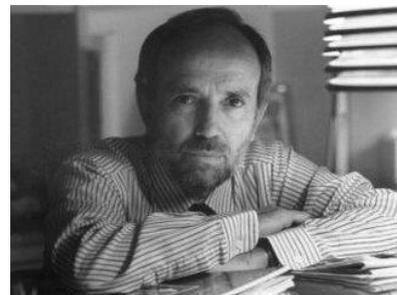
*Ilustración 55 Portada nº3564, Revista Obras Públicas.*

Julio Martínez Calzón, ha destacado por proyectar obras singulares de gran complejidad estructural, sin perder esa sensibilidad por el paisaje y la estética que le caracteriza. Se denomina a sí mismo, y cabe decir que con todo el acierto, como un ingeniero humanista.

Se ha podido ver su interés por divulgar sus conocimientos, desde redactando sus más emblemáticas obras en revistas (como la revista *Obras Públicas*), hasta ejerciendo como profesor en las universidades de Madrid y Santander e incluso escribiendo su destacado libro “Puentes, estructuras, actitudes”.

Como se ha visto en el trabajo, después de fundar su estudio de ingeniería MC2, ha diseñado junto a su estudio, multitud de estructuras de ingeniería civil y edificación, especializándose en proyectos complejos e innovadores y en estructuras mixtas.

Se ha expuesto las numerosas obras en las que ha participado, muchas de ellas junto a su compañero José Antonio Fernández Ordóñez, como el Puente Juan Bravo. Este último, fue un momento importante en sus carreras, ya que fue el primer concurso que ganaron juntos.

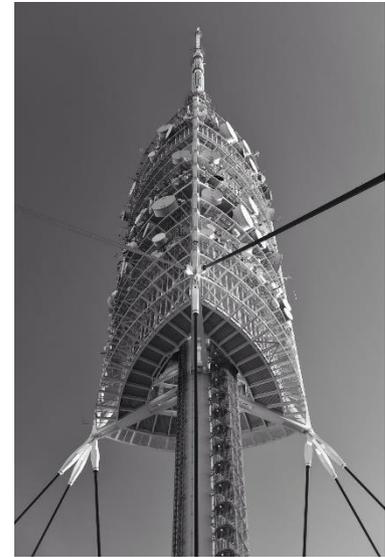


*Ilustración 56 Retrato de José Antonio Fernández Ordóñez.*

Cabe destacar que ha trabajado con diversos arquitectos de reconocimiento internacional, como Moneo, Enrique de Teresa, Arata Isozaki o Norman Foster. De estos tres últimos arquitectos se han descrito, estructural y constructivamente, las obras en las que participó Julio Martínez Calzón.

La primera de ellas, la Torre Collserola, diseñada por Norman Foster, fue la que impulso su carrera como ingeniero, ganando un premio internacional. La segunda, el Palau de Sant Jordi, proyectado por Arata Isozaki, que destacó por esa cubierta principal construida en el suelo y posteriormente elevada hasta su posición final. Y la tercera, la Torre de Agua, de Enrique de Teresa, con una singularidad estructural destacable, que combina diferentes sistemas estructurales que trabajan en perfecta sintonía.

Como reflexión final, es necesario resaltar que la colaboración entre ingenieros y arquitectos, no solo permite el desarrollo de increíbles proyectos, si no también que el resultado final goce del equilibrio y punto de vista de ambas profesiones, resultando así en un proyecto óptimo y armónico en su conjunto.



*Ilustración 57 Fotografía: Torre de Collserola.*

## BIBLIOGRAFÍA

### Sitio / Página Web

Cadena de suministro (n.d.): Julio Martínez Calzón Recibe el Premio nacional de ingeniería Civil. Disponible en: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/nombramientos/julio-martinez-calzon-recibe-el-premio-nacional-de-ingenieria-civil/>

Colegio de ingenieros de camino, canales y puertos (n.d.): Julio Martínez Calzón. Premio nacional de ingeniería 2017. Disponible en: <http://www3.ciccp.es/julio-martinez-calzon-premio-nacional-de-ingenieria-2017-28-de-septiembre-2017/>

Dialnet (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=136232>

Estudio de ingeniería, MC2 (n.d.): MC2. Disponible en: <https://www.mc2.es/>

Fundación Juan March (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <https://www.march.es/actos/100839/>

Grupo TYPESA (n.d.): NUESTRA HISTORIA (1966-2019). Disponible en: <https://www.typsa.com/nuestra-historia/>

Informes de la construcción (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/rt/printerFriendly/5934/7080>

Invenes (n.d.): Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez, patente 399147. Disponible en: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399147>

Invenes (n.d.): Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez, patente 399148. Disponible en: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399148>

Invenes (n.d.): Julio Martínez Calzón, José Antonio Fernández Ordóñez, patente 399149. Disponible en: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149>

Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (n.d.): De la Serna entrega el Premio Nacional de Ingeniería Civil a Julio Martínez Calzón. Disponible en: <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/mar-21112017-0855>

Pares, portal de archivos españoles (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <http://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/autoridad/154099>

Puentemania (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <http://www.puentemania.com/archives/tag/julio-martinez-calzon>

Real Academia de la Historia (n.d.): José Antonio Fernández Ordóñez. Disponible en: <http://dbe.rah.es/biografias/21173/jose-antonio-fernandez-ordonez>

Redfundamentos (n.d.): Conferencia “Obras”. Julio Martínez Calzón en la universidad de Nebrija. Disponible en: <http://www.redfundamentos.com/blog/obras/noticias/historial-de-noticias/detalle-39/>

Rubio arquitectura (n.d.): Torre PWC. Disponible en: <http://rubioarquitectura.com/es/portfolio/torre-pwc/>

Soy de zaragoza (n.d.): Torre del Agua de Zaragoza. Disponible en: <https://www.soydezaragoza.es/torre-agua-zaragoza/>

Testimonio para la historia (Ángel Font) (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <http://www.testimoniosparalahistoria.com/entrevista/julio-martinez-calzon/>

Todos tus libros (n.d.): Julio Martínez Calzón. Disponible en: <https://www.todostuslibros.com/autor/martinez-calzon-julio>

Universidad Politécnica de Valencia (n.d.): La teoría del color y la estética en ingeniería. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/julio-martinez-calzon/>

Universidad Politécnica de Cataluña (n.d.): 9 A.1 José Antonio Fernández Ordóñez, Cronología. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3265/51037-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

Wikipedia (8 oct. 2020): Julio Martínez Calzón. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Julio\\_Mart%C3%ADnez\\_Calz%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Julio_Mart%C3%ADnez_Calz%C3%B3n)

Zaragoza (n.d.): Torre del agua. Disponible en: [https://www.zaragoza.es/ciudad/turismo/es/que-visitar/detalle\\_Monumento?id=471](https://www.zaragoza.es/ciudad/turismo/es/que-visitar/detalle_Monumento?id=471)

## Artículo de revista electrónica

ACHE (2005): "Entrega de medallas de ACHÉ", *Hormigón y acero*, nº238, pp10. Disponible en: <http://www.e-ache.com/>

Escur, N. (Marzo 2006): "Ingeniero humanista. Julio Martínez Calzón", *Revista de Obras Públicas*, nº3.464, pp89-91. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2006/2006\\_marzo\\_3464\\_09.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2006/2006_marzo_3464_09.pdf)

Expo Zaragoza 2008. (2008): "Dossier de prensa", *Expo Zaragoza 2008*, pp1-34. Disponible en: [https://legadoexpozaragoza.com/legadoexpo/files/expo/dossier/Dossier\\_Torre\\_del\\_Agua\\_2.pdf](https://legadoexpozaragoza.com/legadoexpo/files/expo/dossier/Dossier_Torre_del_Agua_2.pdf)

Gómez Navarro, M.; Martínez Calzón, J. (Julio-Agosto 2008): "La estructura de la Torre del Agua en la Exposición Internacional Zaragoza 2008", *Revista de Obras Públicas*, nº 3.490, pp23-40. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008\\_julio-agosto\\_3490\\_03.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf)

Javier Pérez Herreras y Eduardo Delgado Orusco, (Diciembre 2018): "Entrevista con Julio Martínez Calzón. Vivir tantas vidas como realidades", *ZARCH 11*, pp54-77. ISSN: 2341-0531. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_zarch/zarch.2018113207](https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2018113207)

Martín Mora, P. (Diciembre 2017): "Ingeniero y humanista", *Arquitectura, MITMA*, pp1-3. Disponible en: [https://www.mitma.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/dic24\\_39\\_0.pdf](https://www.mitma.es/recursos_mfom/comodin/recursos/dic24_39_0.pdf)

Martínez Calzón J. (Enero-Marzo 2019): "Rememoración", *Informes de la Construcción*, 71(553). Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.67503>

Martínez Calzón, J.; Julia Vilardell, M. (Diciembre 1992): "El proyecto ejecutivo y la construcción de la Torre de Collserola", *Revista de Obras Públicas*, nº 3.316, pp29-60. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992\\_diciembre\\_3316\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_diciembre_3316_02.pdf)

Martínez Calzón, J. (Diciembre 1992): "El Palau Sant Jordi en Barcelona", *Revista de Obras Públicas*, nº3.313, pp11-35. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992\\_agosto-septiembre\\_3313\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf)

Martínez Calzón, J.; Asencio Marchante, J. (Diciembre 1992): "Elevación de la cubierta del Palau Sant Jordi", *Revista de Obras Públicas*, nº 3.490, pp1099-1109. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988\\_diciembre\\_3275\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_diciembre_3275_02.pdf)

Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (Julio-Agosto 2008): "La estructura de la Torre del Agua en la Exposición Internacional Zaragoza 2008", *Revista de Obras Públicas*, pp23-40. Disponible en: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008\\_julio-agosto\\_3490\\_03.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf)

Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones (Julio-Agosto 2018): "Premios Nacionales de Ingeniería Civil", *Revista del Ministerio de Fomento*, nº685, pp137-143. Disponible en: [www.fomento.gob.es/publicaciones](http://www.fomento.gob.es/publicaciones).

On diseño (Julio 2008): "Torre del Agua. Recinto de la Expo 2008", *On diseño*, nº294. Disponible en: <http://ondiseño.com/proyecto.php?id=1427>

Yeste Navarro, I (2006): "La Exposición de 2008 en Zaragoza: Proyectos de pabellones y obras.", *Artigrama*, nº21, pp215-240. Disponible en: <https://www.unizar.es/artigrama/pdf/21/2monografico/09.pdf>

### **Artículos de periódicos digitales o de prensa en línea**

El Mundo (2007): "La Torre del Agua, icono de la Expo Zaragoza.", *EL MUNDO*, 19 de Marzo. Disponible en: <https://www.elmundo.es/elmundo/2007/03/19/suvienda/1174296220.html>

Samaniego, F. (2006): "Julio Martínez Calzón publica su ingeniería humanista", *EL PAÍS*, 2 de Marzo. Disponible en: [https://elpais.com/diario/2006/03/02/cultura/1141254005\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2006/03/02/cultura/1141254005_850215.html)

### **Programas informáticos**

Adobe Acrobat Reader DC [Software]. (2019). Disponible en: <https://get2.adobe.com/es/reader/>

Adobe Photoshop CC [Software]. (2018). Disponible en: <https://www.adobe.com/>

Word (Microsoft Office) [Software]. (2013). Disponible en: <https://www.microsoft.com/>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. Martínez Calzón, Julio (1938-). <http://pares.mcu.es:80/ParesBusquedas20/catalogo/autoridad/154099>
2. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica CP. Revista EXTRA del M<sup>a</sup> de Fomento, n<sup>o</sup> 685, Premios Nacionales de Ingeniería Civil. *Rev del Minist Fom.*:137-143. [www.fomento.gob.es/publicaciones](http://www.fomento.gob.es/publicaciones).
3. Martínez Calzón J. Remembrance. *Inf la Constr.* 2019;71(553). doi:10.3989/ic.67503
4. Historia - MC2. <https://www.mc2.es/sobre-mc2/historia/>
5. Nuestra historia – Grupo TYPSA. <https://www.typsa.com/nuestra-historia/>
6. Martín Mora P. *Ingeniero y humanista.*; 2017. [https://www.mitma.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/dic24\\_39\\_0.pdf](https://www.mitma.es/recursos_mfom/comodin/recursos/dic24_39_0.pdf)
7. JULIO MARTÍNEZ CALZÓN – Testimonios para la Historia. <http://www.testimoniosparalahistoria.com/entrevista/julio-martinez-calzon/>
8. Actividad del Ingeniero. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2006/2006\\_marzo\\_3464\\_09.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2006/2006_marzo_3464_09.pdf)
9. Samaniego F. Julio Martínez Calzón publica su ingeniería humanista | Edición impresa | EL PAÍS. *EL PAÍS*. [https://elpais.com/diario/2006/03/02/cultura/1141254005\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2006/03/02/cultura/1141254005_850215.html). Published marzo 2, 2006.
10. Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez J. P. Invenes patente 399147. <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399147>
11. Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez J. P. Invenes patente 399148. <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399148>
12. Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez J. P. Invenes patente 399149. <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149>
13. Alfonso Í. Memorias de la Fundación: Julio Martínez Calzón. *Fund JUAN MARCH*. Published online 2016. <https://www.march.es/actos/100839/>
14. ACHE Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural <http://www.e-ache.net>. [www.e-ache.com](http://www.e-ache.com)
15. Ingeniero y humanista. [https://www.mitma.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/dic24\\_39\\_0.pdf](https://www.mitma.es/recursos_mfom/comodin/recursos/dic24_39_0.pdf)
16. *UNE-ENV 1994-1-1:1995 Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. AENOR 1995.*
18. Martínez Calzón J. El proyecto ejecutivo y la construcción de la Torre de Collserola. *Rev Obra Públicas*. 1992;Nº 3.316:29-60. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992\\_diciembre\\_3316\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_diciembre_3316_02.pdf)
19. Martínez Calzón J. El Palau Sant Jordi en Barcelona. *Rev Obras Públicas*. Published online 1992:11-35. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992\\_agosto-septiembre\\_3313\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf)

20. Martínez Calzón, J.; Asencio Marchante J. Elevación de la cubierta del Palau Sant Jordi. *Rev Obra Públicas*. Published online 1988:1099-1109. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988\\_diciembre\\_3275\\_02.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_diciembre_3275_02.pdf)
21. Torre del Agua. Recinto de la Expo 2008. *On Diseño*. 2008;294. <http://ondiseno.com/proyecto.php?id=1427>
22. Gómez Navarro M, Martínez Calzón J. *La estructura de la Torre del Agua en la Exposición Internacional Zaragoza 2008*.; 2008. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008\\_julio-agosto\\_3490\\_03.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf)
23. *DOSSIER DE PRENSA* .; 2008. Accedido noviembre 22, 2020. [https://legadoexpozaragoza.com/legadoexpo/files/expo/dossier/Dossier\\_Torre\\_del\\_Agua\\_2.pdf](https://legadoexpozaragoza.com/legadoexpo/files/expo/dossier/Dossier_Torre_del_Agua_2.pdf)
24. Navarro IY. La Exposición de 2008 en Zaragoza: proyectos de pabellones y obras. *Artigrama*. 2006;nº 21:215-240. Accedido noviembre 22, 2020. <https://www.unizar.es/artigrama/pdf/21/2monografico/09.pdf>

## REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

---

- Ilustración 1 Julio Martínez Calzón. Fotografía: Javier Rincón Sánchez.....6**  
Rincón Sánchez, J. (2018). Julio Martínez Calzón. [Fotografía]. Recuperado de:  
<https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/zarch/article/view/3207>
- Ilustración 2 Cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón. ....7**  
Martínez Calzón, J. (2018). Cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón. [Ilustración]. Recuperado de:  
<https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/zarch/article/view/3207>
- Ilustración 3 Universidad de Ingeniería Civil de Madrid. ....9**  
Wikipedia, la enciclopedia libre. (2007). Escuela Universitaria de Obras Públicas. [Fotografía]. Recuperado de:  
<https://es.wikipedia.org/>
- Ilustración 4 Nave de ensayo, Instituto Torroja. ....10**  
Herrero, A. y Gómez, M. (2015). Nave de ensayos, Instituto Torroja. [Fotografía]. Recuperado de:  
<https://artedemadrid.wordpress.com/>
- Ilustración 5 Logo Estudio de Ingeniería MC2 .....11**  
MC2 (n.d.). Logo Etudio de Ingeniería MC2. [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.mc2.es/>
- Ilustración 6 Paso superior sobre el Paseo de la Castellana. ....12**  
MC2 (1970). Paso superior sobre el Paseo de la Castellana. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.mc2.es/>
- Ilustración 7 Martínez Calzón, J.; Ortíz Herrera, J., 1978, Construcción mixta hormigón-acero. ....13**  
Martínez Calzón, J.; Ortíz Herrera, J. (1978). Martínez Calzón, J.; Ortíz Herrera, J., 1978, Construcción mixta hormigón-acero. [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.libros-antiguos-alcana.com/>
- Ilustración 8 Martínez Calzón, J., 2006, Puentes, estructuras, actitudes .....14**  
Martínez Calzón, J. (2006). Martínez Calzón, J., 2006, Puentes, estructuras, actitudes. [Ilustración]. Recuperado de:  
<https://www.mc2.es/>
- Ilustración 9 Martínez Calzón, J., 2017, La pintura del siglo XIX. ....15**  
Martínez Calzón, J. (2017). Martínez Calzón, J., 2017, La pintura del siglo XIX. [Ilustración]. Recuperado de:  
<https://www.catedradehermeneutica.org/publicaciones/>
- Ilustración 10 Diseño del procedimiento de construcción prefabricada de conjuntos horizontales resistentes. ....16**  
Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez, J.A. (1974) Diseño del procedimiento de construcción prefabricada de conjuntos horizontales resistentes. [Ilustración]. Recuperado de: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399147>
- Ilustración 11 Diseño del procedimiento de fabricación de un elemento resistente horizontal. ....17**  
Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez, J.A. (1974) Diseño del procedimiento de fabricación de un elemento resistente horizontal. [Ilustración]. Recuperado de: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399148>

<b>Ilustración 12 Diseño de los conjuntos horizontales resistentes.....</b>	<b>19</b>
Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez, J.A. (1974) Diseño de los conjuntos horizontales resistentes. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149">http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149</a>	
<b>Ilustración 13 Diseño de los conjuntos horizontales resistentes .....</b>	<b>20</b>
Martínez Calzón, J.; Fernández Ordóñez, J.A. (1974) Diseño de los conjuntos horizontales resistentes. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149">http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0399149</a>	
<b>Ilustración 14 Premio Nacional de Ingeniería Civil, 2017.....</b>	<b>21</b>
MC2 (2017). Premio Nacional de Ingeniería Civil, 2017. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 15 Dibujos de los cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón. ....</b>	<b>23</b>
Martínez Calzón, J. (2018). Dibujos de los cuadernos de trabajo de Julio Martínez Calzón. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/zarch/article/view/3207">https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/zarch/article/view/3207</a>	
<b>Ilustración 16 Esquema estructura mixta en vigas cajón. ....</b>	<b>24</b>
Esquema estructura mixta en vigas cajón. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 17 Esquema estructura mixta. ....</b>	<b>24</b>
Esquema estructura mixta. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 18 Imágenes del Puente Juan Bravo.....</b>	<b>29</b>
MC2 (1968). Imágenes del Puente Juan Bravo. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 19 Imágenes del Puente sobre la ría de Ciérvana. ....</b>	<b>29</b>
MC2 (1978). Imágenes del Puente sobre la ría de Ciérvana. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 20 Imágenes del Puente sobre el antiguo cauce del Turia.....</b>	<b>30</b>
MC2 (1989). Imágenes del Puente sobre el antiguo cauce del Turia. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 21 Imágenes del Puente del Arenal.....</b>	<b>30</b>
MC2 (1991). Imágenes del Puente del Arenal. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 22 Imágenes del Puente de Vilobí d'Onyar y La Roca sobre la A-7.....</b>	<b>31</b>
MC2 (1993). Imágenes del Puente de Vilobí d'Onyar y La Roca sobre la A-7. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 23 Imágenes del Puente en el Polígono de Granadilla. ....</b>	<b>31</b>
MC2 (1996). Imágenes del Puente en el Polígono de Granadilla. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 24 Imágenes del Estadio de la Comunidad de Madrid. ....</b>	<b>35</b>
MC2 (1994). Imágenes del Estadio de la Comunidad de Madrid. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 25 Imágenes del Museo Domus. ....</b>	<b>35</b>
MC2 (1995). Imágenes del Museo Domus. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 26 Imágenes de la Torre Mare Nostrum.....</b>	<b>36</b>
MC2 (2006). Imágenes de la Torre Mare Nostrum. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	

<b>Ilustración 27 Imágenes de la Torre Diagonal Zero Zero.</b> .....	<b>36</b>
MC2 (2010). Imágenes de la Torre Diagonal Zero Zero. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 28 Torre de Collserola.</b> .....	<b>38</b>
Wikipedia, la enciclopedia libre. (2010). Torre de Collserola. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://es.wikipedia.org/">https://es.wikipedia.org/</a>	
<b>Ilustración 29 Construcción de la Torre de Collserola.</b> .....	<b>39</b>
La sociedad Torre de Collserola S.A. (1991). Construcción de la Torre de Collserola. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://www.torredecollserola.com/torre-collserola">http://www.torredecollserola.com/torre-collserola</a>	
<b>Ilustración 30 Esquema grupo de tirantes pretensados.</b> .....	<b>40</b>
Esquema grupo de tirantes pretensados. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 31 Elementos estructurales.</b> .....	<b>41</b>
Elementos estructurales. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 32 Esquema del funcionamiento estructural.</b> .....	<b>42</b>
Esquema del funcionamiento estructural. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 33 Fases principales del proceso constructivo.</b> .....	<b>43</b>
Martínez Calzón, J. (1991). Construcción de la Torre de Collserola. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_diciembre_3316_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_diciembre_3316_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 34 Proceso constructivo de la Torre de Collserola.</b> .....	<b>44</b>
MC2 (1991). Proceso constructivo de la Torre de Collserola. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 35 Palau Sant Jordi.</b> .....	<b>45</b>
MC2 (1989). Palau Sant Jordi. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.mc2.es/">https://www.mc2.es/</a>	
<b>Ilustración 36 Alzado y secciones.</b> .....	<b>45</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Alzado y secciones. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 37 Plano en planta con las juntas de dilatación.</b> .....	<b>46</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Plano en planta con las juntas de dilatación. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 38 Palcos y construcción de la cubierta principal.</b> .....	<b>47</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Geometría y dimensiones de la cubierta principal. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 39 Geometría y dimensiones de la cubierta principal.</b> .....	<b>48</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Geometría y dimensiones de la cubierta principal. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 40 Esquema sistema tubular principal.</b> .....	<b>49</b>
Esquema sistema tubular principal. [Ilustración]. Elaboración propia.	

<b>Ilustración 41 Cargas transmitidas de la cubierta. ....</b>	<b>51</b>
Cargas transmitidas de la cubierta. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 42 Esquemas del proceso de elevación. ....</b>	<b>52</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Esquemas del proceso de elevación. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_diciembre_3275_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_diciembre_3275_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 43 Proceso de elevación. ....</b>	<b>53</b>
Martínez Calzón, J. (1989). Proceso de elevación. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1992/1992_agosto-septiembre_3313_02.pdf</a>	
<b>Ilustración 44 Torre del Agua. ....</b>	<b>54</b>
Ayuntamiento Zaragoza. (n.d.). Torre del Agua. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.zaragoza.es/ciudad/usic/detalle_Noticia?id=227798">https://www.zaragoza.es/ciudad/usic/detalle_Noticia?id=227798</a>	
<b>Ilustración 45 Distribución de usos de la Torre. ....</b>	<b>55</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Distribución de usos de la Torre. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 46 Vista aérea general del forjado nervado durante su ejecución. ....</b>	<b>55</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Distribución de usos de la Torre. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 47 Esquema en planta con los principales elementos estructurales. ....</b>	<b>56</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Esquema en planta con los principales elementos estructurales. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 48 Modelo completo de elementos finitos de la Torre. ....</b>	<b>56</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Modelo completo de elementos finitos de la Torre. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 49 Vista exterior de la estructura de la fachada. ....</b>	<b>57</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Vista exterior de la estructura de la fachada. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 50 Tramos inferiores de la estructura de la fachada. ....</b>	<b>57</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Tramos inferiores de la estructura de la fachada. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 51 Esquema estructural del zócalo en planta. ....</b>	<b>58</b>
Esquema estructural del zócalo en planta. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 52 Esquema del conjunto estructural en planta. ....</b>	<b>59</b>
Esquema del conjunto estructural en planta. [Ilustración]. Elaboración propia.	
<b>Ilustración 53 Imagen durante el proceso de ejecución. ....</b>	<b>60</b>
El Mundo (2007). Imagen durante el proceso de ejecución. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.elmundo.es/elmundo/2007/03/19/suvienda/1174296220.html">https://www.elmundo.es/elmundo/2007/03/19/suvienda/1174296220.html</a>	

<b>Ilustración 54 Proceso de ejecución. ....</b>	<b>60</b>
Martínez Calzón, J.; Gómez Navarro, M. (2007). Proceso de ejecución. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf">http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2008/2008_julio-agosto_3490_03.pdf</a>	
<b>Ilustración 55 Portada nº 3564, Revista Obras Públicas. ....</b>	<b>62</b>
Revista Obras Públicas (2015). Portada nº3564, Revista Obras Públicas. [Ilustración]. Recuperado de: <a href="https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/399725">https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/399725</a>	
<b>Ilustración 56 Retrato de José Antonio Fernández Ordóñez.....</b>	<b>63</b>
Gener, M. (1990). Retrato de José Antonio Fernández Ordóñez. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://elpais.com/diario/2010/01/23/babelia/1264203850_740215.html">https://elpais.com/diario/2010/01/23/babelia/1264203850_740215.html</a>	
<b>Ilustración 57 Fotografía: Torre de Collserola.....</b>	<b>64</b>
Pinterest. (1991). Fotografía: Torre de Collserola. [Fotografía]. Recuperado de: <a href="https://www.pinterest.jp/">https://www.pinterest.jp/</a>	

