

Estructura del Roig Arena en Valencia. Cubierta y Fachada

Structure of the Roig Arena in Valencia. Roof and Facade

Enrique Goberna ^a, Knut Stockhusen ^b, Roberto Piñol ^c, Pedro Peña ^c, Fernando Escamilla ^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. sbp ingenieros España. Director ejecutivo. e.goberna@sbp.de

^b Structural engineer. sbp SE. Managing Director.

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. sbp ingenieros España. Ingenieros de proyecto.

^d Arquitecto. sbp ingenieros España. BIM manager.

RESUMEN

El Roig Arena de Valencia es un espacio concebido para la celebración de grandes eventos deportivos, culturales y de ocio. Tiene capacidad para unos 15.000 espectadores en “modo baloncesto”, pudiendo albergar más de 18.500 espectadores en “modo concierto”. Un edificio de semejante envergadura requiere de la conjunción de un equipo muy diverso y multidisciplinar, con el que el equipo de estructuras ha tenido que coordinarse. La explicación de la estructura de este edificio se va a hacer en dos artículos diferentes, de las cuales este va a versar sobre la fachada y la cubierta.

ABSTRACT

The Roig Arena, located in Valencia, is a space designed to host major sporting and cultural events. It has capacity for around 15,000 spectators in ‘basketball mode’ and can hold up to 18,500 spectators in ‘concert mode’. A project of this magnitude requires the coordination of the structure with a large, multidisciplinary team, the structural team had to coordinate with. This paper will deal with the roof and the facade in the context of a highly multifaceted project.

PALABRAS CLAVE: acero, cubierta de gran luz, diseño paramétrico, cerámica

KEYWORDS: Steel, big span roof, parametric façade, ceramic, parametric design



Figura 1. Render del Roig Arena ©ERRE arquitectura

0. Introducción

El Roig Arena es un edificio polifuncional, destinado a albergar diferentes eventos culturales, lúdicos y deportivos. Será ante todo la casa del equipo de baloncesto de Valencia.

El edificio se encuentra en una parcela de unos 22.000 m² al este de la ciudad de Valencia, muy cerca de la Ciudad de las Artes de las Ciencias y de la salida de la ciudad hacia Alicante.

El edificio consta de unos 47.000 m² útiles, parámetro este que, junto con la altura máxima del edificio, unos 40 m, no se podría rebasar por cuestiones de regulación urbanísticas de la ciudad.

Estos metros cuadrados útiles se dividen en una pista central, una pista auxiliar de entrenamiento, una sala multiusos, un parking subterráneo, una dársena para camiones, un graderío de unas 15.000 plazas sentadas, así como numerosos espacios tales como, oficinas, cocinas, museo, terrazas, restaurantes, aseos, espacios verdes, espacios para equipamientos de instalaciones, cabinas VIP y otros tantos

espacios fundamentales para cumplimentar un programa arquitectónico y funcional complejo y ambicioso.

Desde el punto de vista estructural el edificio se puede dividir en las siguientes grandes áreas [figura 2]:

- Cimentaciones
- Edificio del graderío
- Cubierta
- Fachada arquitectónica exterior

Las dos primeras partes se tratarán en un artículo aparte, en tanto que las dos siguientes en el presente.

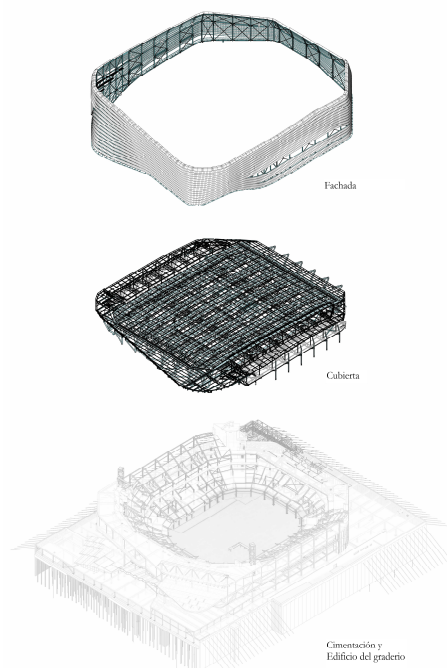


Figura 2. Isometría de las partes del edificio

1. La Cubierta

La cubierta del Arena sustenta el revestimiento acústico-térmico superior del edificio, alberga múltiples instalaciones permanentes (a destacar, un sistema de pasarelas de mantenimiento, conductos de climatización, y placas solares), y soporta parcialmente la estructura portante de la fachada principal. Por otra parte, de la cubierta cuelgan todas las cargas de aparejos (o de “rigging”, en inglés). La razón de ser del recinto es la organización de eventos de todo tipo, y el diseño de la cubierta juega aquí un papel fundamental. Se nos encomendó la tarea de idear un sistema de cubierta polivalente, de fácil operación y mantenimiento.

Atendiendo a todas las condiciones de contorno, la estructura se organizó en base a ocho cerchas de gran luz y a dos amplias losas para instalaciones. Pasamos a describir cada una de las partes en detalle.

1.1 Cerchas principales

La estructura principal de cubierta está formada por ocho grandes cerchas de 113 m de luz, 8.8 m

de canto y 4.6 m de ancho, que salvan el edificio por su lado más largo (dirección este-oeste).

Pese a que esto último pueda parecer contraintuitivo, existía una serie de motivos de peso que condujo a organizar la estructura en longitudinal (dirección este-oeste); entre ellos, el poco espacio para el acopio de las cerchas, el trazado de los carriles para las grúas durante la maniobra de izado, y la imposibilidad de construir con apeos temporales sin salirse de la parcela disponible.

Adicionalmente, esta disposición reforzaba las líneas interiores largas de la pista, lo cual se valoró mucho en términos de arquitectura.

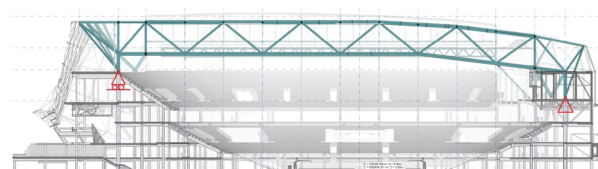


Figura 3. Sección longitudinal (este-oeste) del edificio

1.1.1. Sistema estructural

Las cerchas, de tipología Warren, cuentan con dos cordones superiores de compresión y un cordón inferior de tracción. La sección transversal de las cerchas es un triángulo isósceles que apunta hacia abajo. Entre las diagonales, a media altura entre los cordones superiores e inferiores, discurren pasarelas longitudinales de mantenimiento.



Figura 4. Sección transversal (norte-sur) del edificio

Los cordones superiores y las diagonales de las celosías se materializan con tubos de acero S355 conformados en frío. Los cordones inferiores son también tubos de acero conformado en frío, pero de calidad S460. Las cerchas 1 y 8, las más extremas, cuentan con

tubos de diámetros y espesores mayores porque sirven de soporte de las losas de instalaciones.

Las ocho cerchas están biapoyadas de manera isostática en la estructura del edificio. Cuentan con un apoyo esférico fijo en el lado este, y con un apoyo esférico deslizante en el oeste [figura 3]. Todos los apoyos esféricos bloquean los desplazamientos de dirección norte-sur.

Las ocho cerchas se solidarizan entre sí mediante vigas transversales y mediante cruces de San Andrés cada dos cerchas [figura 5].

La cercha más al norte cuenta además con soportes de dirección norte-sur a los dos núcleos norte del edificio [figura 5]. Estas fijaciones se producen a una cota superior a la de los apoyos esféricos, lo cual confiere estabilidad completa al conjunto de la cubierta, impidiendo su vuelco.

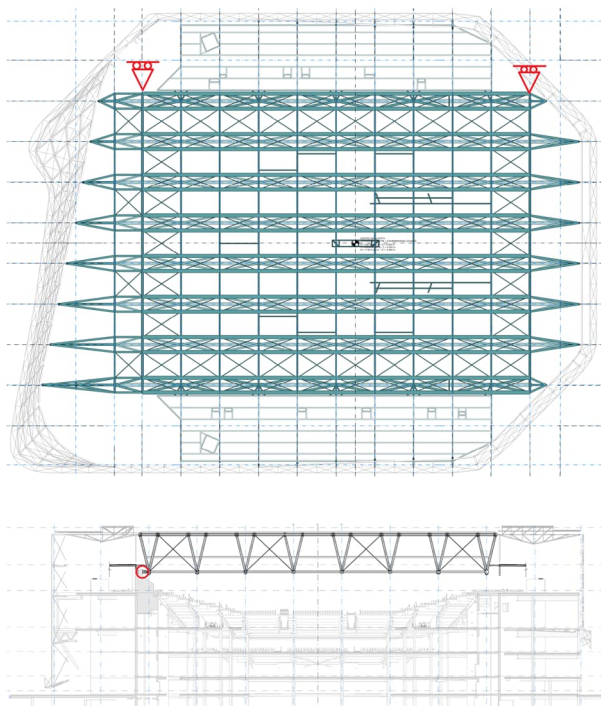


Figura 5. Planta de la cubierta y sección transversal por apoyos. Restricción lateral

1.1.2. Proceso constructivo

La puesta en obra de unas cerchas de esta luz no es una tarea menor. Se tramitaron los permisos necesarios con el Ayuntamiento para ocupar la calle Àngel Villena (al norte de la parcela) como zona de construcción y acopio. Interesaba que

las cerchas se construyeran lo más cerca posible del edificio para limitar la carrera de las grúas durante la maniobra de izado.

Los tubos de acero se transportaron desde el taller de ANRO en Tomelloso, Ciudad Real, y se soldaron in situ sobre cuatro grandes bastidores (uno de ellos dentro del vaso del recinto, a 5 m bajo el nivel de la calle, y los tres restantes sobre ésta).

Puesto que sólo había espacio para cuatro bastidores junto al edificio, la segunda tanda de cerchas se preensambló en tercios en la parcela situada entre el Arena y *La Fonteta*. Una vez los bastidores quedaron libres, los tercios se montaron sobre éstos y se soldaron entre sí.

Las maniobras se realizaron con dos mega grúas, una de 600 t en el extremo este [Figura 6] y otra de 700 t en el oeste, que discurrían sobre corredores instalados en el interior del vaso del Arena.



Figura 6. Elevación de las cerchas © R.Piñol

1.2 Losas de instalaciones

Puesto que la cubierta aloja gran multitud de instalaciones, se optó por concentrar gran parte de la maquinaria asociada en dos grandes soleras flotantes de 1.280 m² cada una. Ubicarlas en el nivel de la cubierta posibilitaba despejar los niveles inferiores del edificio. Estas dos terrazas están sostenidas parcialmente por el edificio, y parcialmente por la cubierta y se sitúan en los flancos norte y sur del edificio [Figura 7].

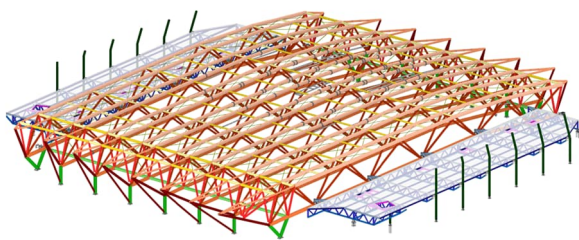


Figura 7. Cubierta y losas de instalaciones

1.2.1. Sistema estructural

Cada uno de estos dos forjados de hormigón sobre chapa colaborante está construido sobre un emparrillado de cerchas metálicas, compuesto por nueve cerchas norte-sur, y una única cercha este-oeste que las vincula en el flanco interior.

El emparrillado está soportado verticalmente en el lado de la fachada por una serie de péndulos que se apoyan en la estructura del edificio.

En el lado interior, el emparrillado de cerchas está apoyado en las cerchas principales de las cubiertas extremas (la 1 y la 8) mediante cinco apoyos esféricos deslizantes en el plano horizontal. De esta manera, las losas no transmiten cargas horizontales a las cerchas (viento, sismo); sólo transmiten peso.

En el sentido longitudinal la losa está asegurada a los núcleos este del edificio mediante una rótula con pasador. A este apoyo se le llamó “coronavirus” porque en sus primeras versiones (un tubo de acero con muchos conectadores radiales) bien recordaba al desgraciado virus y su concepción coincidió con la época del confinamiento.

La losa se fija en la dirección transversal (norte-sur) en los núcleos este y oeste. En los núcleos este también a través del apoyo “coronavirus”, y en los núcleos oeste a través de un apoyo que bloquea en transversal y libera en longitudinal.

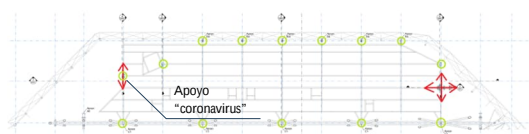


Figura 8. Condiciones de apoyo de las losas de instalaciones

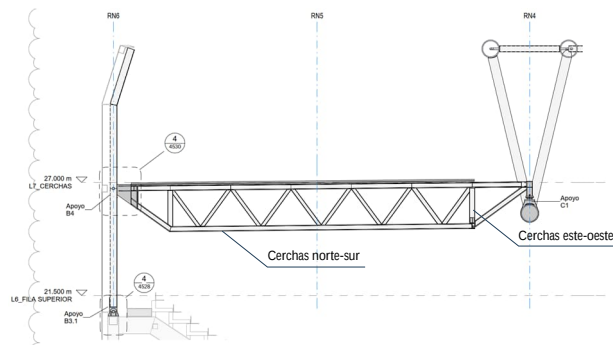


Figura 9. Apoyos de la losa en fachada y en cubierta

1.2.2. Proceso constructivo

El forjado se construyó del este al oeste, pues en el este contamos con la restricción longitudinal del apoyo “coronavirus”. A medida que se instalaban las cerchas de dirección norte-sur, estas se iban conectando con tramos de cercha longitudinal este-oeste por el lado interior. Con la estructura metálica terminada, se procedía a la instalación de la chapa grecada, y finalmente al hormigonado de la losa.

2. La Fachada

La fachada es la envolvente del edificio y, por lo tanto, la parte más visible del edificio.

Era condición que la fachada hiciera gala de algo tan valenciano como la cerámica, cuya industria es uno de los motores de la Comunidad Valenciana, sobre todo en el área de Castellón. Bajo esta premisa arquitectónica, la fachada se concibió formalmente como un gran mosaico de teselas cerámicas rectangulares de tamaño aproximado 1.2 m x 1m.

Una vez asentada la idea formal y arquitectónica, había que plantear una estructura compatible. Para ello, se estableció una estructura en dos niveles. Una subestructura o estructura principal, y una “piel” o envolvente paramétrica, adjetivo que tenía todo el sentido, dado que la adecuación del gran número de teselas a su peculiar desarrollo geométrico solo podía ser manejable mediante el uso de herramientas de diseño paramétrico.

2.1 Estructura principal de fachada

La estructura principal de la fachada consiste en una rejilla de montantes verticales y horizontales arriostrados en su plano mediante diagonales, en tanto que el arriostramiento fuera del plano de la fachada se consigue mediante apoyos hacia el edificio.

Esta estructura fue concebida para ser el sostén de la envolvente paramétrica.

La fachada es muy heterogénea en su concepción arquitectónica, siendo muy regular en los lados este, norte y sur, en tanto es de forma más libre en el flanco oeste del edificio. De esta manera, la estructura principal de la fachada se tuvo que dividir en tres sistemas estructuralmente independientes.

La independencia, frente a esfuerzos térmicos y esfuerzos horizontales contenidos en el plano de fachada, de dichos sistemas estructurales se materializó en ejes verticales específicos mediante la utilización de uniones articuladas deslizantes.

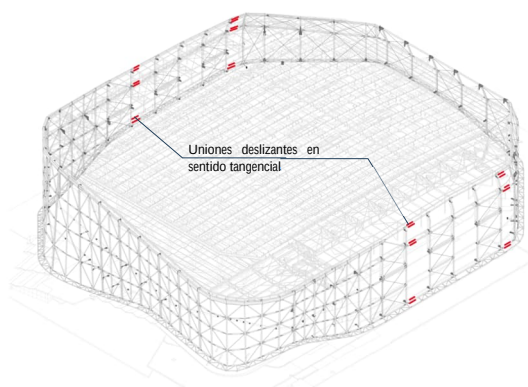


Figura 10. Ejes de separación de sistemas estructurales

2.1.1. Sistema estructural

La concepción de cada uno de los distintos sistemas estructurales de la estructura principal de fachada vino directamente condicionada por dos factores: la forma arquitectónica de la fachada y el número de apoyos sobre las estructuras adyacentes a la fachada.

Estos sistemas estructurales se dividen de la siguiente manera:

Sistema estructural zona norte y sur:

En este caso, la estructura principal de fachada consta de un sistema tradicional de paños rectangulares independientes formados por montantes verticales y horizontales arriostrados mediante barras tensoras.

Debido a las distintas condiciones de apoyo, cada una de las zonas, norte y sur, consta de cuatro paños arriostrados diagonalmente mediante cruces de San Andrés, dos superiores y dos inferiores, conectados horizontalmente entre sí mediante montantes horizontales liberados longitudinalmente.

La división de un paño único vertical en dos independientes entre sí se debe a que la parte inferior de la estructura principal de fachada, en las zonas norte y sur, apoya en la estructura metálica del edificio del graderío (*bowl*) interior. Mientras que la parte superior de la estructura de fachada debe apoyarse en la estructura de la losa destinada a instalaciones. Al tener, dichas estructuras interiores, comportamientos muy distintos, se decidió dividir el posible paño único vertical en dos, de forma que el paño superior transmitiera los esfuerzos a la estructura de la losa de instalaciones y el paño superior se sustentará en la estructura del *bowl* interior.

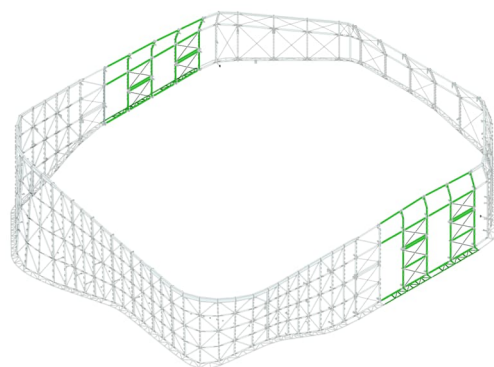


Figura 11. Estructura principal de las fachadas sur/norte

Sistema estructural zona este:

En este caso, se consideró como sistema estructural único el formado por los lados este, sureste y noreste. Esto es debido a que, frente a esfuerzos térmicos y acciones de viento, trabajan

conjuntamente al conectarse horizontalmente, en el nivel intermedio, donde se unen los lados este-sureste y este-noreste. Dicha conexión se realiza en la zona curva de la fachada, consiguiendo un efecto arco que, además de transmitir esfuerzos horizontales provenientes de las acciones térmicas, ayuda a rigidizar la estructura principal frente a acciones de viento, en una zona donde no hay apoyos perpendiculares a la fachada.

A pesar de que, para la transmisión de esfuerzos horizontales, se consideró un sistema estructural único, para el caso de la transmisión de esfuerzos verticales se dividió el sistema estructural en dos subsistemas.

El primero de éstos comprende la zona este, y está formada por cinco paños verticales formados por montantes verticales y horizontales. En este caso, tanto los paños extremos como el paño central se encuentran arriostrados mediante tensores. Los apoyos verticales de este subsistema estructural se localizan en las cerchas de cubierta.

El segundo, idéntico en su esencia en los lados sureste y noreste, se trata de una gran cercha formada por montantes horizontales y verticales arriostrados entre sí por tensores. Este subsistema cuenta con dos apoyos verticales en el núcleo interior de hormigón, así como con otros dos en los puntos superiores que comparte con los lados este (cuelgue de cercha) y sur/norte, en función de cuál sea la zona analizada, sureste/noreste. De esta forma, tenemos un paño vertical principal rígido, empotrado verticalmente, mediante los dos apoyos verticales en el nivel intermedio del núcleo de hormigón y coaccionado tangencialmente en la parte inferior de dicho núcleo. Dicho paño sirve de empotramiento, tanto por el este como por el sur/norte, de la parte de la cercha que queda a ambos lados del paño principal rígido.

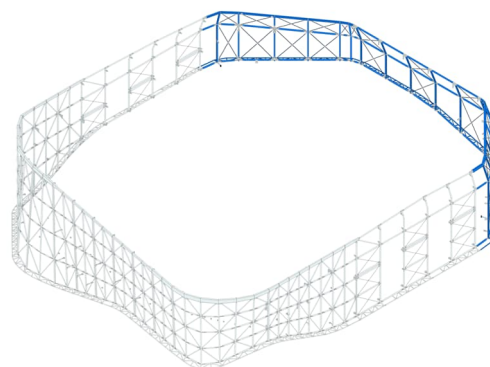


Figura 12. Estructura principal fachada este

Sistema estructural zona oeste:

Este fue, sin duda, el sistema estructural de fachada más complicado de materializar, debido a las formas libres requeridas desde el punto de vista arquitectónico y al reducido número de puntos de apoyo con los que podíamos contar.

En este caso, la estructura de fachada fue concebida como una cáscara que estaba apoyada verticalmente en muy pocos puntos. Concretamente, en el flanco oeste dichos apoyos se dan en las cerchas de cubierta, mientras que, en los lados sur y norte, la cáscara, únicamente, se encuentra apoyada en dos puntos, obteniendo luces de hasta 40 metros, algo poco común en fachadas de edificación.

Además, debido a la morfología de la fachada, los apoyos perpendiculares a ésta no siguen una distribución regular, sino que hay zonas que abarcan casi 50 metros de longitud en los que no disponemos de ningún apoyo de este tipo.

En cuanto a las coacciones horizontales tangenciales a la fachada, se decidió reducirlas al mínimo, permitiendo que la estructura respirara, pero controlando a su vez que los desplazamientos fueran admisibles desde un punto de vista funcional.

Con el objetivo de poder dar solución a los condicionantes mencionados previamente y a las luces comentadas, se utilizó, a modo de cáscara, un *grid* formado por montantes verticales, montantes horizontales y diagonales. Dicha cáscara permite transmitir los esfuerzos provenientes de cualquier tipo de acción, además de proporcionar la rigidez vertical y horizontal

necesaria para mantener las deformaciones controladas.

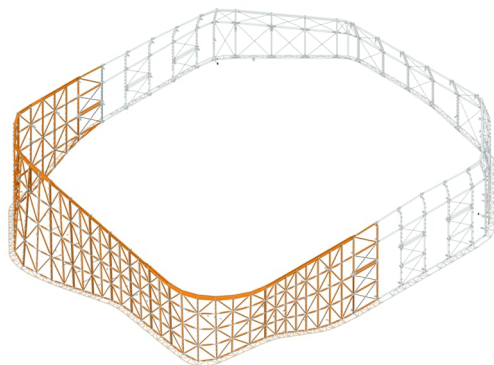


Figura 13. Estructura principal fachada oeste

2.1.2. Proceso constructivo

Los condicionantes principales a la hora de plantear el proceso constructivo fueron tres: el limitado espacio de tiempo disponible para el montaje de la fachada, alrededor de 9 meses, la imposibilidad de apoyar la fachada provisionalmente en el suelo durante la construcción, ya que se debían estar ejecutando otros tajos simultáneamente, y, por último, la ausencia de espacio en el suelo para realizar ensamblajes.

En base a estos condicionantes y considerando la complejidad de la estructura principal de fachada, se concibió un proceso constructivo en el que se podía montar varias zonas simultáneamente, a la vez que se construía desde las alturas. Además, cabe destacar que, para que el montaje fuera lo más rápido posible, se utilizaron en su mayor parte conexiones atornilladas como uniones entre elementos de la estructura reticulada.

Debido a los distintos sistemas estructurales utilizados, el procedimiento planteó comenzar por las zonas que eran estables por sí solas (norte, sur, este, viga corona oeste) y, posteriormente, ejecutar las zonas dependientes estructuralmente de la construcción previa de las zonas mencionadas.

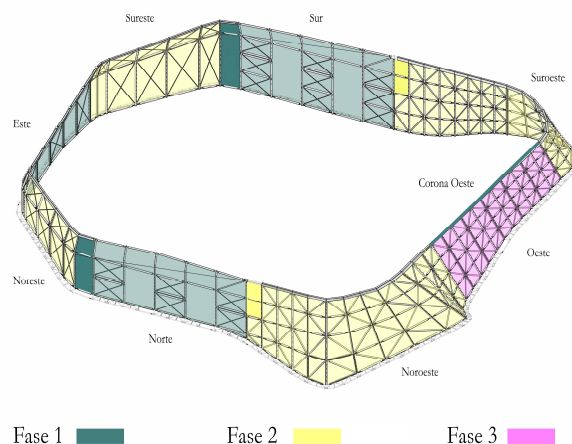


Figura 14. Orden de construcción de la estructura principal de fachada

Proceso constructivo zona norte, sur y este:

La estructura principal de fachada en estas zonas tiene los apoyos distribuidos de manera que fue posible realizar el montaje de manera sencilla y rápida, montándose en primer lugar los montantes verticales, luego los montantes horizontales y finalizando por los tensores.

Proceso constructivo zona sureste y noreste:

En este caso, para poder comenzar con la construcción de las zonas sureste y noreste, era necesario haber montado previamente las fachadas sur, este y norte.

Debido a la escasez de apoyos verticales, la imposibilidad de apoyar la fachada en el suelo y la limitación de espacio en el suelo para preensamblaje, se tuvo que pensar un procedimiento con el que montar desde las alturas.

Dicho proceso comenzaba con la construcción del paño principal rígido que apoya en el núcleo de hormigón interior. Una vez montados los montantes y arriostramientos de dicho paño, se colocaban los dos tramos de viga corona que conectaban dicho paño con los puntos de conexión con las zonas adyacentes (este, sur/norte). Una vez colocada la viga corona, se colgaban los montantes verticales, que se ataban usando los montantes horizontales, quedando el sistema completado una vez se disponían y tesaban los tensores.

Proceso constructivo zona oeste, suroeste y noreste:

La construcción de estas zonas fue, sin duda, la más singular. El montaje de dichas zonas comenzó con la ejecución de la viga corona en su lado oeste, empotrándola a las cerchas de cubierta provisionalmente para que fuera estable. Una vez ejecutada dicha viga y habiendo ejecutado previamente las fachadas norte y sur, se pudo comenzar con la construcción de la fachada sureste y noreste.

El montaje de ambas zonas se concibió de manera similar. Partiendo del único apoyo vertical intermedio que había en estas fachadas, el único apoyo en suelo en toda la fachada en el lado norte y el apoyo a la cercha interior del *bowl* en el lado sur, se colocaba el montante vertical principal de la estructura de fachada. Una vez fijado, se montaban los dos tramos de viga corona que partían de dicho montante. El primer tramo conectaba dicho elemento con la fachada sur/norte. Mientras que, el segundo tramo conectaba el montante vertical con la viga corona previamente ejecutada en el oeste.

Una vez montados los tramos de viga corona, se procedió a avanzar paño a paño, de manera simétrica desde los montantes principales, colocando, en primer lugar, el montante vertical colgado de la viga corona y atándolo, posteriormente, al montante vertical del paño anterior mediante los montantes horizontales. La finalización de cada paño se daba mediante la colocación de las diagonales.

Para poder finalizar correctamente el montaje de la estructura principal de la fachada oeste, se definieron tres paños de cierre: el paño central del lado oeste y los paños de conexión con el norte y el sur. Dichos paños fueron los encargados de absorber los ligeros desplazamientos que se dieron durante la construcción. Esto se consiguió mediante la utilización de agujeros rasgados en las uniones atornilladas pretensadas, con las cuales se

conseguía cerrar el sistema estructural una vez se procedía al pretensado de los tornillos.



Figura 15. Construcción fachada noroeste © E.Goberna

2.2 Fachada paramétrica

La “piel” o fachada paramétrica, conformada por las lamas cerámicas, protege al edificio de la incidencia directa de la luz solar, a la vez que otorga una imagen icónica al mismo.

Esta “piel” está compuesta por cerca de 8.600 piezas cerámicas por lo que solo era factible diseñarlo mediante un modelado paramétrico. Para ello se partió de una idea innovadora como lo es la generación de una “piel” con una geometría no reglada y en la que el elemento cerámico fuera el gran protagonista. El modelo paramétrico debía garantizar que existiera una continuidad en la fachada evitando saltos innecesarios, una producción en cadena de lamas cerámicas de idéntico tamaño, y un montaje rápido de la fachada minimizando los trabajos “in-situ”.

2.2.1. Sistema estructural

Esta “piel” cerámica se concibe como un sistema de tubos modulares completamente isostático, fijos en un lateral y con libertad de movimiento en el otro, individualizando desde el punto de vista estructural cada uno de ellos con la estructura principal.

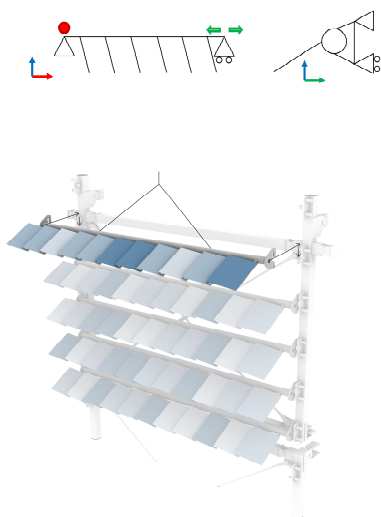


Figura 16. Sistema estructural modular y puesta en obra

2.2.1. Proceso constructivo

Cada módulo cuelga de unos pernos situados a ambos lados de este y el proceso de montaje se puede simplificar en los siguientes 3 pasos:

- Colocación del módulo sobre los pernos elevándolo con grúas mediante un útil que permite controlar su posición en todo momento.
- Bloqueo lateral mediante la inserción de una tapa atornillada en uno de los pernos.
- Bloqueo vertical mediante chapa atornillada.

3. Conclusiones

En este artículo se han descrito desde el punto de vista estructural y constructivo dos partes muy singulares del Roig Arena, como son su cubierta y la fachada.

Mediciones básicas de la cubierta y fachada:

- Acero en cubierta, cerchas principales: 2500 t

- Acero en cubierta, losas de instalaciones de cubierta: 705 t
- Acero en estructura principal de fachada: 1250 t
- Acero en estructura paramétrica de fachada: 750 t
- Hormigón en losas de instalaciones de cubierta prefabricadas: 300 m³

Agradecimientos

- Cliente: *Licampa 1617*
- Dirección de obra arquitectura: José Martí (ERRE arquitectura)
- Dirección de obra de estructura: Enrique Goberna (sbp Madrid)
- Dirección de Ejecución: Ismael Padilla (*Licampa 1617*).
- Director del proyecto: Víctor Ferré (*Licampa 1617*).
- Diseño Arquitectónico: HOK y ERRE arquitectura
- Proyecto de estructuras: schlaich bergermann partner (sbp). Participantes por orden alfabético: Juliana Carvalho, Juan B. Cubero, Jan Ebentheuer, Fernando Escamilla, Marta di Castri, Enrique Goberna, Ana Llinares, Carlos Canella, Filippo Meglioli, Carlos Nieto, Pedro Peña, Roberto Piñol, Elina Priedeslaipa, Bernd Ruhnke, Alberto Sánchez, Knut Stockhusen, Mathias Widmayer
- Colaboradores de estructuras: *GmásP ingeniería y arquitectura*.
- Contratista estructura metálica principal: *industrias metálicas ANRO*
- Contratista estructura de hormigón y obra civil: *PAVASAL*