

Estructura del Roig Arena. Cimentación y Edificio del graderío

Roig Arena structure. Foundation and Bowl

Enrique Goberna ^a, Knut Stockhusen ^b, Fernando Escamilla ^d, Gonzalo Goberna ^c

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

^b Structural engineer. sbp SE. Managing Director.

^c Arquitecto. sbp ingenieros España. BIM managers.

^d Ingeniero industrial especialista en estructuras. GmásP ingeniería y arquitectura. Director técnico.

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, sin ninguna duda, el equipo de estructuras ha tenido que coordinarse. La explicación de la estructura de este edificio se va a hacer en dos artículos, de los cuales este va a versar sobre la cimentación y el edificio del graderío propiamente dicho.

ABSTRACT

Roig Arena 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, especially since the Arena is acoustically and climatically isolated from the outside. This paper will deal with the foundation and the bowl in the context of a highly multifaceted project.

PALABRAS CLAVE: estructuras, acero, hormigón, pretensado, construcción, pilotes, micropilotes,

KEYWORDS: structures, steel, concrete, prestressed concrete, construction, piles, micropiles,

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.

Hasta la fecha, el Valencia Basket contaba con el polideportivo Municipal Fuente de San Luis (*La Fonteta*) que alberga tan solo a 9.000 espectadores, claramente por debajo de la capacidad necesaria para la gran afición del equipo valenciano.

El propietario del Valencia Basket llegó a un acuerdo con el Ayuntamiento por el cual él construiría una gran arena multiusos para el disfrute de la ciudad a cambio de la concesión de la explotación de la misma durante 50 años. Para ello, el Ayuntamiento cedería a cambio un solar junto a la Alquería de baloncesto antes mencionada.

Lo siguiente era contar con el equipo para realizar el proyecto, el cual sería multidisciplinar e internacional. Era condición que en cada disciplina hubiera una empresa local y otra internacional con gran experiencia en la materia. Esta simbiosis se ha demostrado muy beneficiosa dado que los equipos internacionales no hubieran podido desempeñar su labor con tanta eficacia sin la aportación de los equipos locales y viceversa.

En la arquitectura estaría *HOK* como internacional junto con *ERRE* como arquitectura local.

En el campo de las obras civiles y estructuras estaría *schlaich bergermann partner* como ingeniería internacional y *GmásP* como ingeniería local.

Además, en un edificio tan complejo como este hay muchas disciplinas involucradas, tales como instalaciones, control de costes, sonido, estrategia de movimiento, seguridad, etc.



Figura 0. Render del Roig Arena ©ERRE arquitectura

El proyecto de estructura se dividió en dos fases, una por debajo de rasante (excavaciones, contenciones y cimentaciones) y otra sobre rasante. De esa manera se pudo iniciar la obra con la primera fase del proyecto en tanto se elaboraba la segunda fase del proyecto. Este proceso duró desde septiembre del 2019 (fase 1 de proyecto) hasta junio del año 2021 (fase 2 de proyecto). En este artículo se va a tratar de las estructuras y cimentaciones del edificio del graderío.

Todo lo que tiene que ver con la subestructura y contención de tierras consta de:

- Losa de encepado
- Muros pantalla

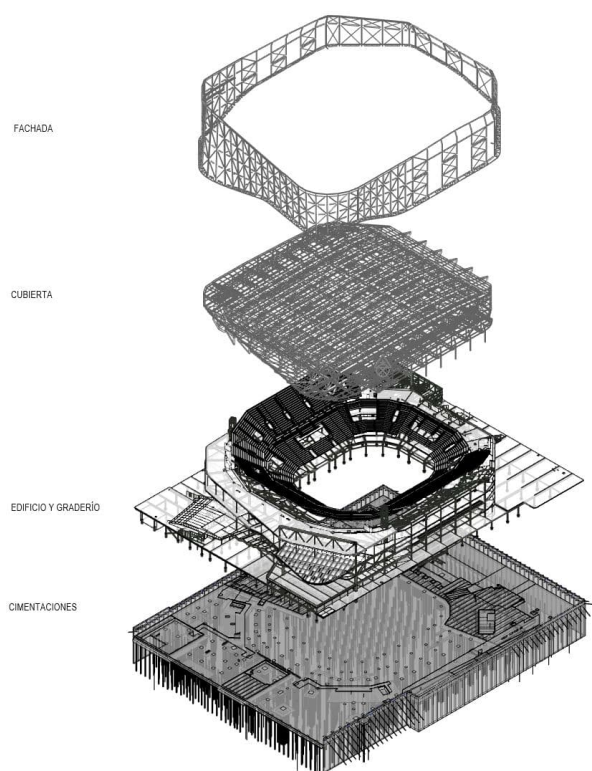


Figura 1. Imagen resumen de las partes en las que se divide el edificio a nivel estructural

Todo lo relativo a la superestructura, y sin contar con la cubierta y la fachada, se podría dividir de la siguiente manera según su función:

- Edificio del Graderío: consiste en el espacio principal del edificio en cuya pista central se celebrarán los eventos deportivos, musicales y culturales. El edificio se distribuye en 6 niveles principales.
- Sala Multifuncional: espacio diáfano destinado a albergar diferentes usos, con geometría rectangular y una superficie aproximada de 1350 m². Sobre este espacio se diseñan distintos niveles de terrazas o balcones.
- Pista auxiliar de baloncesto: pista cubierta anexa al edificio principal, con geometría rectangular y una superficie aproximada de 900 m².
- Muelle de carga: zona logística destinada a la carga/descarga de mercancías para los diferentes eventos. La superficie total de este espacio es de 3.000 m² incluyendo la zona y rampa de acceso.

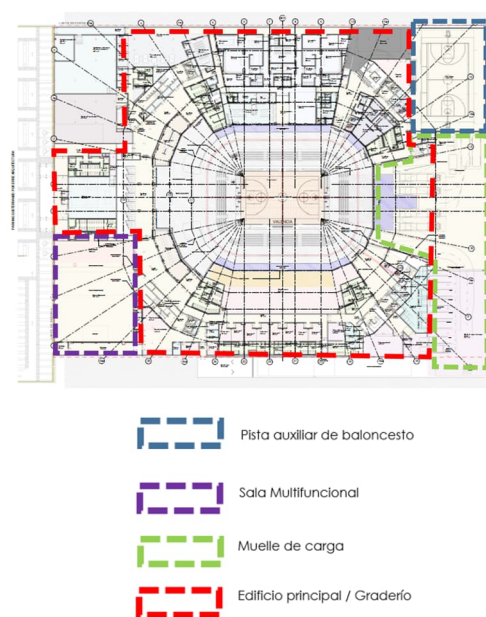


Figura 2. Imagen resumen de las partes en las que se divide el edificio a nivel estructural

2. La Cimentación

Los niveles inferiores del estadio están en torno a la cota -7 m bajo el nivel de calle, por lo tanto, hay que ejecutar un vaso de hormigón que consta de dos partes claramente diferenciadas.

1. Muros pantalla con anclajes temporales al terreno.
2. Losa continua apoyada sobre pilotes prefabricados hincados.

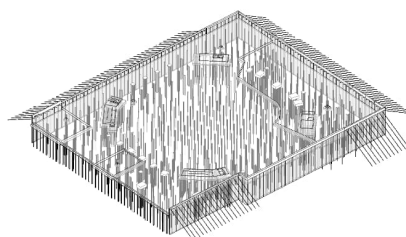


Figura 3. Losa de encepados sobre pilotes y muros de pantalla.

2.1 Pantallas de contención

Se diseñaron muros pantalla de algo mas de 18 m de profundidad con el objetivo de atravesar el nivel superior de gravas y reducir así las filtraciones al fondo de excavación durante la

ejecución. El tramo final de las pantallas, dada su función específica de reducir el flujo hidráulico al interior de la construcción, era de hormigón en masa.

2.1.1. Sistema estructural

Se diseñaron dos espesores de pantalla:

- Pantallas de 600 mm de espesor para aquellas zonas que en su situación definitiva estarán arriostradas por los forjados del edificio. Estas pantallas requieren de anclajes provisionales durante la fase de construcción.
- Pantallas de 1000 mm de espesor para aquellas zonas que en su situación definitiva no estarán arriostradas por los forjados del edificio. Estas pantallas se diseñan en voladizo por lo que no requieren de anclajes provisionales durante la fase de construcción.

Sobre las pantallas se diseñó una viga de coronación con una anchura igual al espesor de la pantalla. Sobre esta apoyan las vigas de los diferentes forjados del nivel L2 que acometen contra la pantalla.

2.1.2. Proceso constructivo

La ejecución de los muros pantalla estuvo muy ligada a la ejecución del vaso y el vaciado de la parcela.

Las soluciones adoptadas en el diseño del proyecto requirieron de tres tipos de procesos de excavación diferentes:

- a) Excavación de muros pantalla de hormigón
 - b) Excavación general a cielo abierto (vaciado de la parcela)
 - c) Excavación de pozos o cimentaciones localizadas (encepados)
-
- a) Excavación de muros pantalla de hormigón

De acuerdo con la información del estudio geotécnico de proyecto, el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad aproximadamente. Por este motivo, antes de iniciar los trabajos de excavación se debió

realizar un muro pantalla de hormigón armado a lo largo de todo el perímetro de la parcela. Este muro pantalla permitía, por un lado la contención de las tierras en su trasdós, y por otro lado evitar y reducir las posibles filtraciones de agua hacia la zona interna de la parcela (zona de trabajo).

El muro pantalla se construyó por tramos. Se excavó por medio de cuchara bivalva, que fue profundizando a plomo del plano del muro hasta alcanzar la profundidad necesaria para el vaciado, más el anclaje correspondiente en el terreno según especificado en planos.

Antes del inicio de la ejecución de las pantallas, y para asegurar la posición, anchura y verticalidad de la cuchara bivalva, se ejecutaron los muretes guía.

Una vez excavada un tramos de pantalla, se procedió a colocar el armado de refuerzo y a su hormigonado. Terminado un tramo de pantalla se pasó a otro no contiguo para garantizar que la pantalla recién hormigonada pudiera adquirir la resistencia necesaria antes de excavar la inmediatamente adjunta.

b) Excavación general a cielo abierto (vaciado de la parcela)

La ejecución de la excavación general de la parcela se realizó mediante medios mecánicos convencionales.

Una primera fase de excavación consistió en alcanzar la cota de coronación de los muros pantalla, cota a partir de la cual se iniciaron los trabajos de ejecución de los mismos. La excavación general se realizó una vez completado el perímetro del muro pantalla o la parte del mismo que fuere necesario para la contención de tierras en la zona de excavación general.

Debido al alto nivel freático fue necesario la utilización de sistemas de agotamiento durante la fase de excavación.

- c) Excavación de pozos o cimentaciones localizadas (encepados)

Además de la excavación general (vaciado de la parcela) fueron necesarias excavaciones localizadas para ejecutar la geometría de las diferentes cimentaciones de acuerdo con las distintas tipologías de encepados y otros elementos puntuales como los fosos de ascensor, los pozos de bombeo, etc.

2.2 Cimentación, encepados y pilotes

Debido a la baja capacidad portante del terreno en el fondo del vaso del edificio, así como la gran supresión del agua, se diseñó una losa de fondo del vaso cimentada por pilotes. La losa tenía los represamientos localizados a modo de encepados.

La geometría de los encepados y el número y distribución de pilotes es variable y depende de las cargas transmitidas por los pilares del edificio, existiendo encepados aislados, lineales o superficiales y geometría, por lo general, de planta cuadrada o rectangular.

Por motivos económicos y de tiempos de ejecución, se llegó a la conclusión de que la mejor opción era acudir a pilotes hincados de hormigón armado de unos 15 m de longitud en media y de sección cuadrada de 350 mm o de 400 mm de lado.

Algunos de los pilotes tenían una perforación en el centro por la que poder practicar un micropilote autoperforante tipo TITAN. Esto fue una idea aportada por la contrata de pilotes, RODIO KRONSA, para aquellos pilotes que, según los cálculos, estaban sujetos a grandes tracciones por la subpresión del agua.

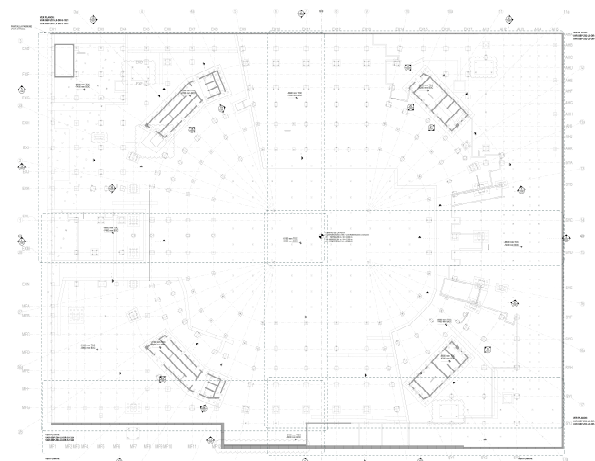


Figura 4. Planta de losa de cimentación

2.2.2. Proceso constructivo

El proceso de ejecución consta de dos grandes fases:

1. Hincado de los pilotes prefabricados hasta rechazo.

Para confirmar y comparar los resultados de los pilotes se realizaron unas pruebas de carga.

La prueba de carga a compresión se realizó mediante un cilindro hidráulico actuando contra un bastidor metálico anclado a cuatro pilotes de reacción.



Figura 5. Cilindro y bastidor metálico para prueba de carga

Los ensayos realizados fueron del tipo de carga incremental con control de la evolución de los asentamientos y fluencia en los valores de carga máxima de cada ciclo.

A su vez se realizaron ensayos de carga dinámica en los que se demostró la capacidad estructural del pilote, así como la integridad del mismo.

2. Armado y posterior hormigonado de la losa de fondo.

La ejecución de la losa de fondo no tiene mayor complicación que la de instalar el armado, conectar la losa al muro pantalla y a su posterior hormigonado.

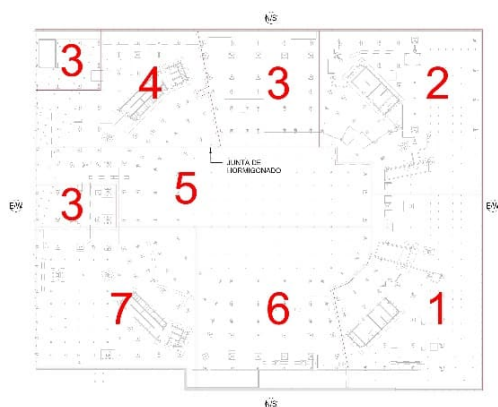


Figura 6. Fases losa de cimentación

El reto fue hormigonar grandes volúmenes de hasta 3.000m³, donde el cuidado curado del hormigón tras su puesta en obra cobraba gran importancia para reducir los efectos de la retracción plástica.

3. Edificio del graderío

3.1 Estructura principal

3.1.1. Sistema estructural

La estructura general del edificio del graderío está formada principalmente por pórticos de acero. Estos pórticos están compuestos por pilares, vigas (vigas armadas y perfiles laminados) y "raker beams" o vigas portagradas sobre las cuales apoyan las gradas prefabricadas.

En las esquinas del edificio existen cuatro núcleos de comunicación que permiten los movimientos verticales a lo largo del edificio

(escaleras, ascensores, etc.), así como el paso de las instalaciones principales.

Los núcleos de comunicación están compuestos por muros de hormigón armado, con un espesor de 30 cm que son los encargados de dotar de estabilidad horizontal al conjunto del edificio.

Los forjados se resuelven con distintas tipologías estructurales en función de los condicionantes estructurales existentes en cada zona (nivel de cargas a soportar, luces de cálculo, condicionantes constructivos, etc.). Por lo general se acudió a soluciones con placa prefabricada alveolar pretesa, si bien se usó en algunos casos losas macizas, losas aligeradas, forjados colaborantes y, en un caso muy concreto, losa aligerada insitu postesada.

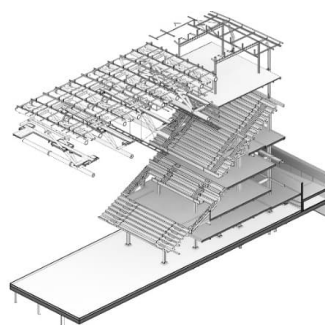


Figura 7. Sección Edificio del graderío

El edificio principal y graderío consta de diferentes estructuras singulares para adaptarse a un variado y complejo programa arquitectónico que obligaba a eliminar no pocos pilares.

Por poner un ejemplo, en la zona este, se unieron varios niveles del edificio configurando celosías de gran canto en sentido tangencial al mismo. De esta forma se conseguía minimizar el número de pilares en la zona sótano del muelle de carga de camiones para facilitar la maniobrabilidad de los mismos.



Figura 8. Distribución de celosías tangenciales y radiales

Otras zonas de interés, como la pista auxiliar de entrenamiento o la sala multifuncional, se resolvieron con celosías de gran luz.

3.1.2. Proceso constructivo

El proceso constructivo comenzó con la ejecución de los 4 núcleos de hormigón, los cuales son los responsables de la estabilidad lateral del edificio del graderío tanto en fase de construcción como en fase final.

Una vez arrancados los núcleos se comenzó a ejecutar la estructura metálica conectándola a los mismos.

Conforme iba creciendo la estructura metálica se pudieron ir ejecutando los forjados de placa alveolar y forjados in situ, los cuales se solidarizaban con los núcleos.

Una vez ejecutados los forjados, y previo a la ejecución de la estructura metálica, se procedió a la instalación de las gradas prefabricadas.

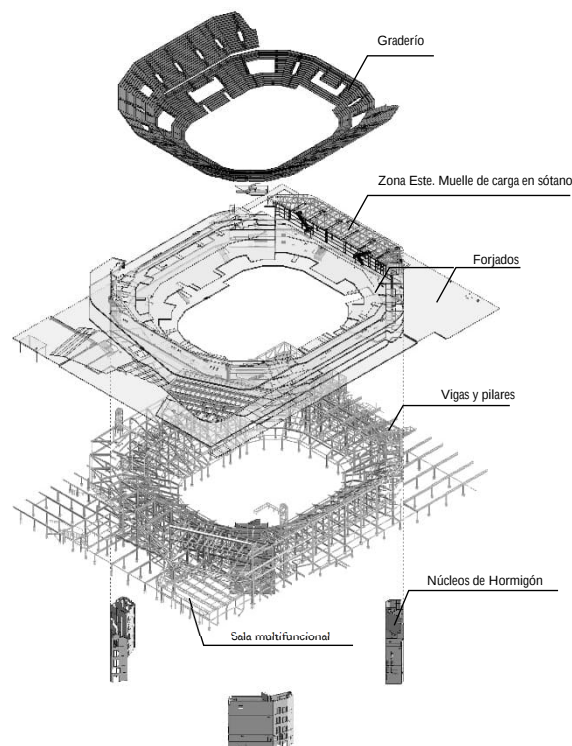


Figura 9. Volumetría del edificio del graderío

3.2 Losa postesada

La losa postesada es una terraza singular situada en la esquina suroeste del edificio en el nivel L5 sobre la sala multifuncional. Precisamente, por estar encima de esta sala, la terraza no podía apoyar sobre ningún pilar que interfiriera con la misma. Esto obligaba a que la terraza fuera una estructura en voladizo de hormigón postesado soportada por una gran celosía tangencial en el nivel superior (nivel L6) y de otra celosía tangencial en el nivel inmediatamente inferior (nivel L4).

3.2.1. Sistema estructural

La losa postesada es una losa de hormigón de canto variable de aproximadamente 32 m de largo y 42 m de ancho con un voladizo de 15 m.

Estructuralmente la losa requiere de grandes cantos en su zona más solicitada de hasta 1.95 m, es por ello que, con la intención de optimizar volumen de hormigón, se propuso una losa de canto variable aligerada formada por 18

vigas radiales, cada 2.36 m, de las cuales 13 vigas son postesadas.

Una losa de 100 mm de espesor ata todas las vigas en su parte superior e inferior. El espacio entre vigas es un volumen que se encofró con madera a modo de encofrado perdido con la rigidez suficiente para resistir las fuerzas de empuje durante la fase de vertido del hormigón.

La cercha superior del nivel L6 recibe las cargas propias a la vez que sirve de soporte de 3 puntales entre L5 y L6 que sostienen parcialmente a la losa postesada. A su vez, el forjado L4 cuelga parcialmente de la losa postesada gracias a 3 tirantes.

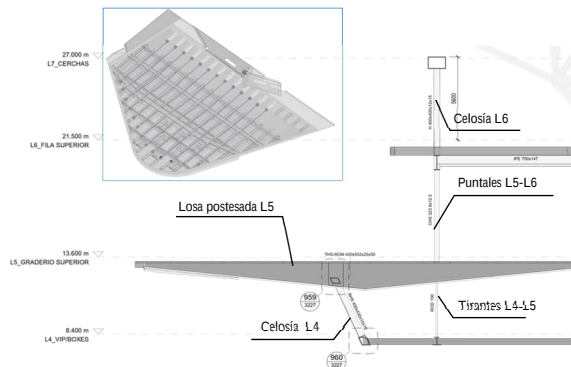


Figura 10. Corte radial de la esquina suroeste y volumetría

La losa postesada apoya adicionalmente en una cercha dispuesta en sentido tangencial al edificio entre los niveles L4 y L5.

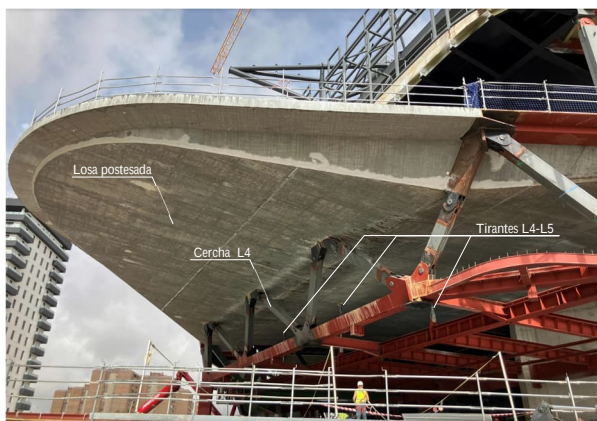


Figura 11. Losa postesada apoyando sobre celosía frontal L4

3.2.2. Proceso constructivo

Se requirió de un meticuloso proceso constructivo con un monitorización en todas las fases del mismo.

La losa postesada se ejecutó sobre cimbra totalmente cuajada sin interferir con la estructura metálica que se instaló previamente.

Las fases claves de la ejecución de la losa se resumen en:

1. Ejecución de las celosías laterales en los niveles de L4 y L5, así como el acero del forjado de L4. Colocación de cuatro torres de apeo en el nivel del forjado de L4.

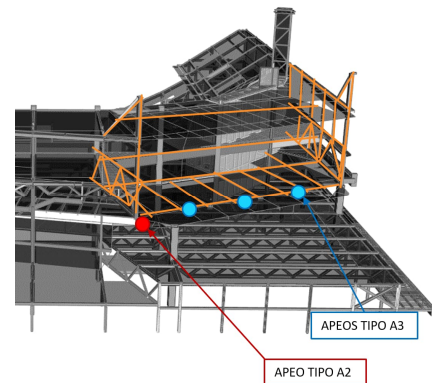


Figura 12. Fases ejecución celosías laterales

2. Ejecución de la celosía frontal de L6 y conexión de esta con el núcleo mediante el acero del forjado de L6.

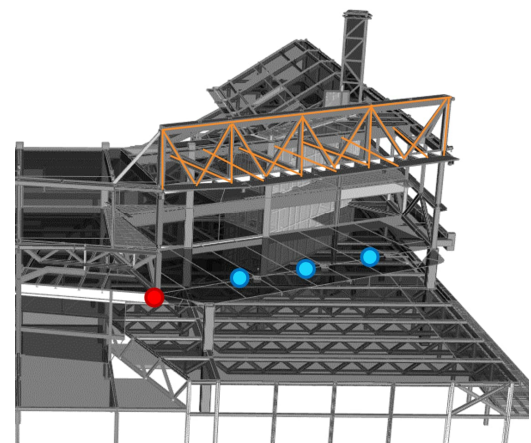


Figura 13. Fases ejecución celosía L6

3. Ejecución de la celosía frontal del nivel de L4 apoyada en tres nuevas torres de apeo.

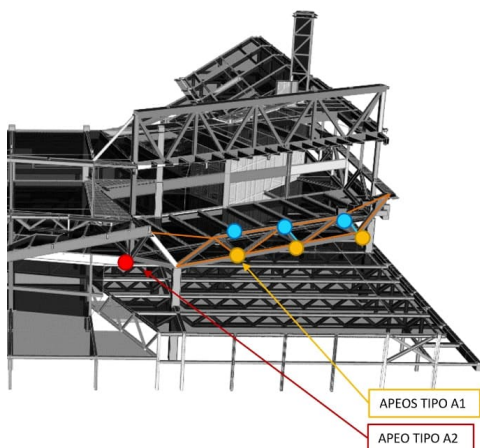


Figura 14. Fases ejecución celosía frontal L4
4. Ejecución de puntales de L6 a L5 y tirantes de L5 a L4. Estos no se conectan con la losa todavía.

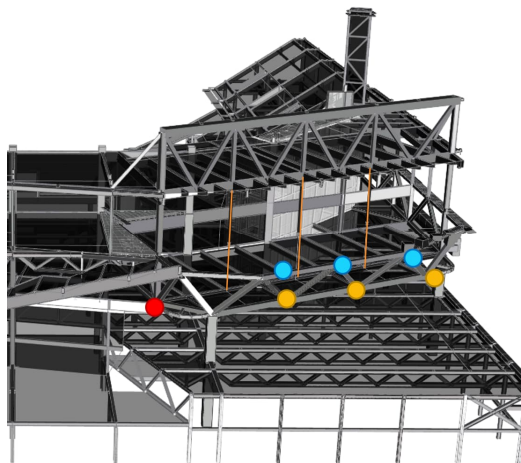


Figura 15. Fases ejecución tirantes
5. Cimbrado de la losa. Ejecución de la losa inferior, vigas radiales, longitudinales y zuncho perimetral
6. Tesado al 50% de las vigas radiales
7. Descimbrado de la losa
8. Tesado del restante 50% de las vigas radiales.
9. Ejecución de la losa superior y conexión con el núcleo, así como conexión con los tirantes de L4 a L5. Una vez conectados los tirantes pudieron quitarse las torres de apeo que quedan bajo la vertical de los tirantes.

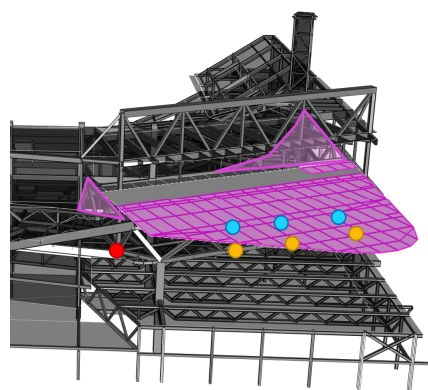


Figura 16. Fases ejecución 6

10. Desapeo controlado por gatos hidráulicos hasta el “take off” de la estructura.

3.3 Graderío

El graderío es uno de los elementos estructurales más visibles, puesto que es la estructura encargada de albergar todas las localidades y de garantizar la correcta visual hacia el campo desde todos los puntos.

El graderío está formado por piezas de hormigón prefabricado, lo que garantiza una alta calidad de acabado y permite controlar todos los factores directamente en fábrica. Debido a la geometría general del espacio, era necesario hacer un despiece que encajara con la estructura pero que a su vez mantuviera la forma del espacio diseñado. Para ello se optó por 2 estrategias paralelas:

1. El diseño de unas piezas que, aunque tuvieran longitudes variables, fueran similares y que permitieran el uso de los mismos encofrados.
2. Posicionamiento general en todo el complejo de las piezas, ajustándolas en cada sitio a sus estructuras de soporte para garantizar su correcta colocación.

Se diseñaron un total de 7 subtipos que cubrían por completo las necesidades del complejo, con un total de 1094 módulos prefabricados que cubrían por completo todo el espacio interior.

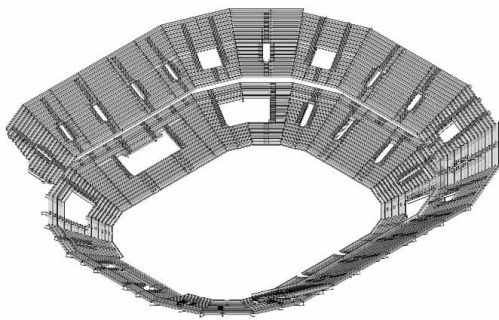


Figura 17. Isometría graderío

3.3.1. Sistema estructural

Todos los módulos se construyeron de hormigón armado. Cada elemento funciona como una viga de canto de hormigón armado que se unen a las vigas metálicas portagradas sin interaccionar estructuralmente con ellas.

Los módulos cubren por completo el espacio y se adaptan a la geometría general, funcionando a la vez como el forjado que sostiene todos los asientos del edificio.

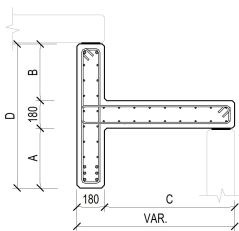


Figura 18. Sección transversal de viga de graderío

3.3.1. Proceso constructivo

Gracias a los módulos prefabricados, el proceso constructivo se simplificó enormemente sin necesidad de encofrar nada en obra, por lo que sólo hubo que instalar las piezas que llegan del taller. La unión de cada elemento de grada se realizó únicamente mediante mortero vertido directamente en los huecos en los que se insertaban los pernos previamente soldados en las vigas portagradas.

Aunque las piezas prefabricadas fueron diseñadas en base a la topografía, se optó por dejar algunos márgenes de tolerancia en las zonas de anclaje.

4. Conclusiones

En este artículo se han descrito todos los elementos más singulares de la cimentación y de la estructura del edificio del Roig Arena.

En rasgos generales, las mediciones de las partidas estructurales más importantes son las siguientes:

- Muros pantalla: 479 m lineales y 8900 m²
- Anclajes de muro pantalla: 169 ud
- Pilotes: 1387 ud.
- Losa de cimentación: 20.020 m³
- Núcleos de comunicación: 2825 m³
- Forjados aéreos: 37.200 m²

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 bergemann 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*