

## Ampliación del Estadio de Madrid. Ejecución de la estructura

### *Expansion of Madrid Stadium. Structure construction*

#### Jesús GÓMEZ HERMOSO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Madrid

Profesor Titular

[jesusgomezhermoso@gmail.com](mailto:jesusgomezhermoso@gmail.com)

#### Ginés LADRÓN DE GUEVARA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

MC2

Director

[gines@mc2.es](mailto:gines@mc2.es)

### RESUMEN

En esta ponencia se recogen algunos de los principales aspectos de la estructura del edificio. Partiendo de la denominada “Peineta” (tribuna Oeste) se describen las características del proyecto de la remodelación de este lado y de los otros tres con una estructura nueva. También se recoge el proceso de fabricación y montaje de las gradas prefabricadas, así como del hormigón autocompactante con el que están fabricadas. Finalmente se describe brevemente el proceso de montaje de la cubierta.

### ABSTRACT

This paper shows some of the main aspects of building structure. Starting with west grandstand (“Peineta”) it describes this side project characteristics expansion and the others three sides new structure. It shows also the process of manufacturing and assembly of precast bleachers and self-compacting concrete applied. It finally describes the roof assembly process.

**PALABRAS CLAVE:** estadio, estructura de hormigón, gradas prefabricadas, hormigón autocompactante, cubierta textil

**KEYWORDS:** stadium, concrete structure, precast bleachers, self-compacting concrete, textile roof

### 1. Descripción del edificio

El Estadio de Madrid fue construido en los primeros años de la última década del pasado siglo [1]. Estaba constituido por una graderío principal en uno de sus laterales (Figura 1) y rodeado por una superficie verde natural en los otros tres lados del rectángulo. Su destino inicial era la práctica del atletismo, aun contando con un campo de fútbol en el interior de la pista.

En el año 2004 el Ayuntamiento de Madrid se planteó la ampliación del estadio hasta una capacidad de 70000 espectadores, con el objetivo de convertirlo en estadio olímpico y celebrar en la ciudad los Juegos Olímpicos de 2008 (después se intentó para 2012 y para 2016) [2-4].

En un acuerdo con el Club Atlético de Madrid, se planteó que el estadio olímpico se transformara posteriormente en un estadio para la práctica del fútbol. Teniendo en cuenta que no se obtuvo la celebración de los Juegos Olímpicos de 2008 ni de 2012, se estudió la alternativa de que el estadio se remodelara para la práctica del fútbol, posteriormente se transformara en estadio olímpico y, finalmente, se volviera a adaptar para la práctica sólo de fútbol. Esta evolución supuso una serie de



**Figura 1. Tribuna del estadio de 1994**

cambios en el proyecto y en las alternativas de los procesos de construcción. La diferencia fundamental estriba en la composición de los graderíos. El estadio que finalmente se está construyendo, y cuya finalización está prevista para junio de 2017, cuenta con tres niveles de graderío (alto, medio y bajo). En el caso de la práctica de atletismo las pistas ocuparían, en planta, el espacio del graderío bajo y, por tanto, el estadio tendría sólo graderíos medio y alto.

Teniendo en cuenta la evolución que han sufrido las candidaturas de Madrid como ciudad olímpica, han sido varias las alternativas del proceso constructivo. Finalmente se ha adoptado la construcción del estadio sólo para la práctica del fútbol y como campo de juego del Club Atlético de Madrid.

El esquema general de construcción del estadio ha sido el siguiente:

- Partiendo de una tribuna principal en la zona Oeste, constituida por un graderío alto (cuya forma avala el nombre de “La Peineta”) y un graderío medio, se ha de demoler éste.
- En una segunda fase se construyen los pórticos portagradas de los graderíos medio de la zona Oeste y medio y alto de las zonas Norte, Este y Sur.
- Se comienza la fabricación y el montaje de las gradas de los graderíos del punto anterior.
- Se construyen los pórticos portagradas del graderío bajo en todo el perímetro del campo de juego.
- Se montan el resto de las gradas prefabricadas.

Sobre las características técnicas de la cimentación y la estructura del estadio debe indicarse que la cimentación del original es profunda y está constituida por pilotes ejecutados “in situ”. La actual ampliación se ha llevado a cabo mediante la cimentación con pilotes “in situ” en los nuevos pórticos ejecutados y con recalce con micropilotes en las zonas en que ha sido necesario en la estructura original, motivado por el incremento de cargas en determinados ámbitos.

La cubierta del estadio la compone una tensoestructura apoyada en un anillo de compresión exterior constituido por una estructura metálica de sección triangular en una sección radial del estadio, y un anillo de tracción interior con dos niveles de cables. Radialmente hay una familia de cables que, alternativamente, une el punto alto del anillo de compresión con el punto bajo del anillo de tracción y el punto bajo del anillo de compresión con el punto alto del anillo de tracción. Sobre estos cables

radiales y anclados a los anillos de tracción y compresión se monta la cubierta textil propiamente dicha.

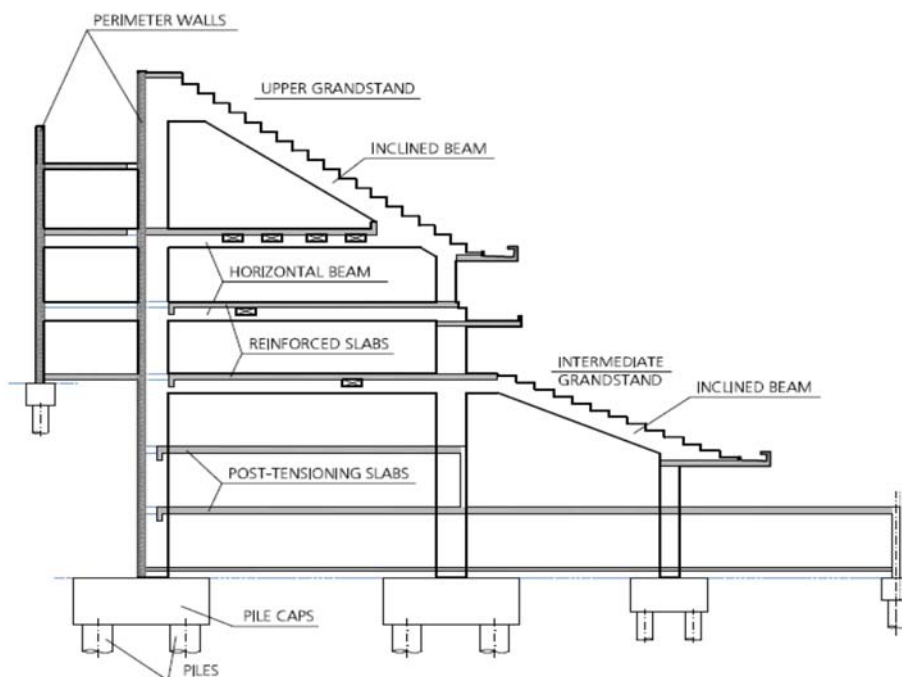
## 2. Descripción de la estructura

La estructura de hormigón bajo cubierta presenta tres niveles de graderíos: bajo, medio y alto (Figura 3). El primer nivel está constituido por una estructura independiente del resto, completando el perímetro interior en forma de anillo cerrado. Los niveles medio y alto (Figura 2) forman parte del mismo sistema estructural, en el que el graderío medio también cierra un anillo continuo, mientras que el nivel alto se encuentra interrumpido en la confluencia con la tribuna que constituye la denominada "Peineta".

Los elementos lineales que conforman las gradas de los graderíos medio y alto del estadio están definidos en proyecto con una geometría singular, que atiende tanto a necesidades estructurales como a criterios arquitectónicos.

Las luces de estos elementos son variables, estando comprendidas entre 8,40 y 12,40 m, abarcando una superficie aproximada de 18000 m<sup>2</sup>. Sus dimensiones siguen un mismo esquema conceptual, como se define en la Figura 4, y en función de los casos presenta diferentes valores de ancho, descuelgue y altura del respaldo.

Esta solución geométrica es diferente del esquema clásico de grada en forma de "L" o de "T tumbada". Con esta disposición se consigue responder a exigencias estructurales garantizando el comportamiento autoestable de forma independiente para cada grada, así como a exigencias arquitectónicas.



**Figura 2. Sección transversal con graderíos medio y alto**



**Figura 3. Portagradas de zona Norte. Nivel alto en construcción**

El esquema general de la estructura se encuentra constituido por unos pórticos portagradas en sentido radial de hormigón armado. Los forjados están formados por losas de hormigón armado y de hormigón pretensado.

Los materiales empleados son los siguientes [5]:

- Pórticos: HA-30/B/20/IIb
- Losas postesadas: HP-30/B/20/IIb
- Gradas HA-40/B/12/IIb (HAC)

siendo el acero pasivo B500S

y el acero activo Y 1860 S7



**Figura 4. Sección tipo (invertida) de grada de graderíos medio y alto**



Por entender que la construcción de pórticos y losas constituye un aspecto menos significativo, el resto de la ponencia se centrará en el desarrollo llevado a cabo con los gradas prefabricadas.

### 3. Gradas prefabricadas. Fabricación, control y montaje

Las gradas de los graderíos medio y alto se prefabricaron en una nave montada al efecto en la obra por la empresa NERVADOS, mientras las del graderío bajo se fabricaron en el taller del que esta empresa dispone en Córdoba.

La nave de obra (55x18 m) (Figura 5) dispone de tres zonas:

- Zona 1: Franja de 55x5 m destinada a la ubicación de la línea de encofrados.
- Zona 2: Espacio de 14x12 m para la limpieza y preparación de la parte móvil del encofrado.
- Zona 3: Destinada al acopio de gradas recientemente fabricadas y al almacenamiento de las armaduras de las gradas próximas a entrar en el encofrado. Ocupa el resto de la nave.

El hormigón empleado para la fabricación de las gradas es un hormigón autocompactante (HAC), lo que supone una serie de condicionantes especiales, tanto en el transporte como en su puesta en obra. La fabricación de este hormigón se llevaba a cabo en una planta situada fuera de la obra, con lo que el control del “tiempo de apertura” era fundamental. Se realizaron numerosas pruebas para controlar este parámetro en distintas épocas del año, lo que llevaba a condicionar la dosificación del propio hormigón.

También ha sido un condicionante muy importante el ritmo de fabricación de las gradas, ya que obligaba a desencofrar la pieza 7 horas después de su hormigonado, debiendo alcanzar el hormigón una resistencia mínima elevada para soportar los esfuerzos derivados de su transporte entre la bancada de prefabricación y el lugar de acopio interior a la nave.



**Figura 5. Nave de prefabricación de gradas en obra. Encofrado de doble grada tipo**



**Figura 6. Armadura de la grada montada sobre la bancada de prefabricación**

El proceso de fabricación comprende las siguientes fases:

1. Desapriete de los tornillos y puntales que mantienen la rigidez y estanqueidad de los encofrados.
2. Extracción del caparazón exterior del encofrado, que será elevado y transportado a la zona 2, donde se limpiará y se aplicará el líquido desencofrante (CHRYSO R Dem DV Bío).
3. Desencofrado y elevación de las gradas fabricadas en el turno anterior.
4. Limpieza y aplicación de desencofrante en la mesa de fabricación.
5. Comprobación de documentación previa a la preparación del encofrado.
6. Situación de la tajaderas que definen las dimensiones de las piezas.
7. Colocación de armaduras (Figura 6), prefabricadas en el taller de ferralla de obra.
8. Colocación del capazón exterior del encofrado (Figura 7).



**Figura 7. Montaje de caparazón exterior del encofrado**

9. Apriete de tornillos y puntales.
10. Hormigonado, con realización de los ensayos correspondientes de control del HAC.
11. Curado. Una vez finalizado el hormigonado se aplica una capa de líquido de curado SIKA ANTISOL E en la cara de llenado, que es la que queda expuesta. El resto de la pieza queda cubierta por el encofrado que, al ser estanco, no produce pérdidas de humedad. Posteriormente se cubre el encofrado con una lona de manera que se crea un túnel que aísla la pieza. El tiempo de curado queda acotado por los turnos de fabricación, como se ha dicho antes, a unas 7 a 8 horas.
12. Desencofrado. Antes de proceder a la manipulación de la pieza se confirma la resistencia a compresión necesaria para el desencofrado. Para mejorar la resistencia a compresión del hormigón en edades tempranas se aumenta la temperatura del encofrado con ayuda de cañones de aire, que aportan calor en el interior de la lona de cubierta creando así un túnel de aire caliente. El objetivo es mantener el encofrado en un rango aproximado de 35°C a 40°C. Estas medidas se tomarán únicamente en el caso de que la temperatura exterior al finalizar el hormigonado sea inferior a 20°C.
13. Acopio. Traslado de las piezas hasta el patio de acopio exterior a la nave, así como entrada a la misma de las armaduras desde aquél.
14. Ejecución del recrecido de apoyo de la grada. Era un sistema propio adoptado para optimizar la estabilidad de la pieza una vez montada sobre los pórticos portagradas.
15. Volteo de las gradas a su posición de colocación justo antes de la misma (Figura 8)

El control de calidad del hormigón autocompactante (HAC) se realiza, fundamentalmente a través de los siguientes ensayos:

- Ecurrimiento [6], siendo el criterio de aceptación:  $750 \text{ mm} \leq d_r \leq 850 \text{ mm}$
- Anillo Japonés (Figura 9), con el criterio fijado en:  $d_{Jf} \geq d_f - 50 \text{ mm}$  con un anillo de 20 barras



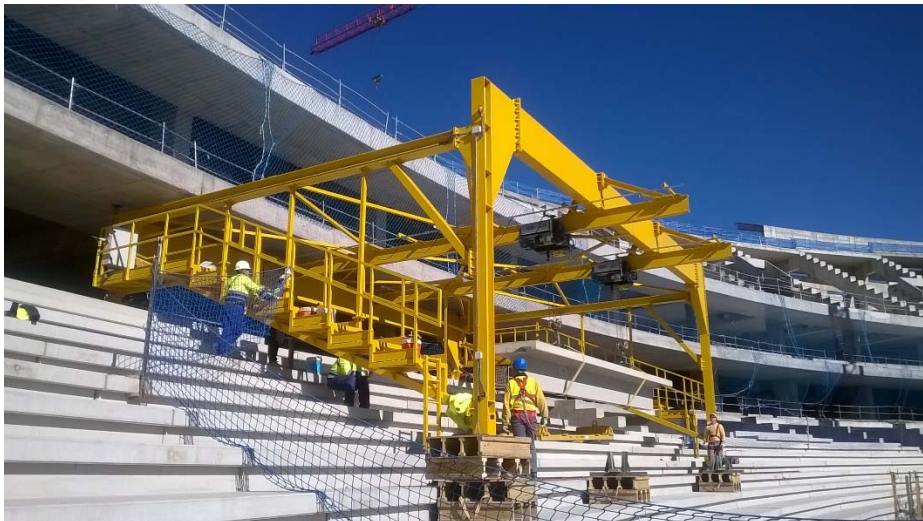
**Figura 8. Montaje de gradas en obra**





**Figura 9. Ensayo de Anillo Japonés**

Para el montaje de las gradas existía una zona conflictiva en el graderío medio. En su parte superior, bajo la parte más saliente del graderío alto, el pórtico portagradas de éste impedía montar las gradas. Para realizar esta operación se ha preparado un pórtico móvil (Figura 10) que toma la grada desde su parte inferior y la eleva hasta la posición definitiva de la misma.



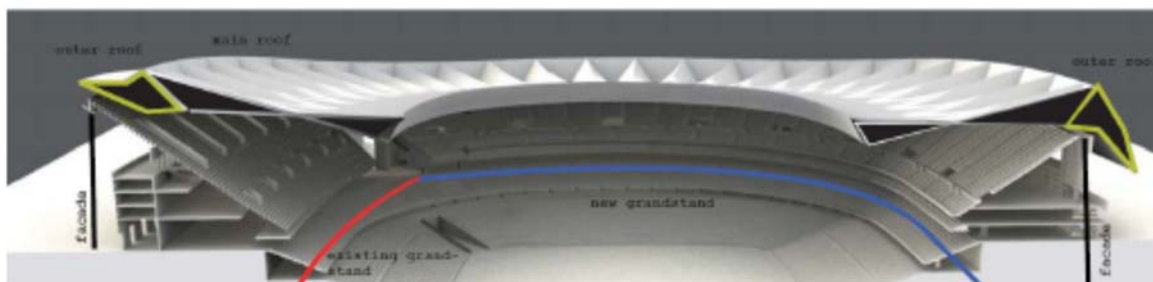
**Figura 10. Pórtico móvil para montaje de gradas bajo graderío alto**

#### **4. Estructura de cubierta**

Aunque no es objeto principal de esta ponencia, se realiza una breve descripción del montaje de la estructura de cubierta. Ésta se encuentra constituida por siguientes elementos (Figura 11):



- Anillo de compresión perimetral exterior, apoyado en la parte superior de los pórticos portagradas y constituido por una estructura metálica de sección triangular (en el sentido radial del estadio).
- Anillo de tracción interior de doble altura constituido por dos familias de cables.
- Cables radiales que unen, alternativamente, la parte superior del anillo de compresión con la parte inferior del anillo de tracción y la parte inferior del anillo de compresión con la parte superior del anillo de tracción.
- Membrana textil que apoya sobre los cables radiales y se ancla en el anillo de compresión y en el anillo de tracción.
- Por el exterior del anillo de compresión se monta una estructura metálica adicional (“canopy”) para completar la cobertura de los espectadores y el cierre del estadio.



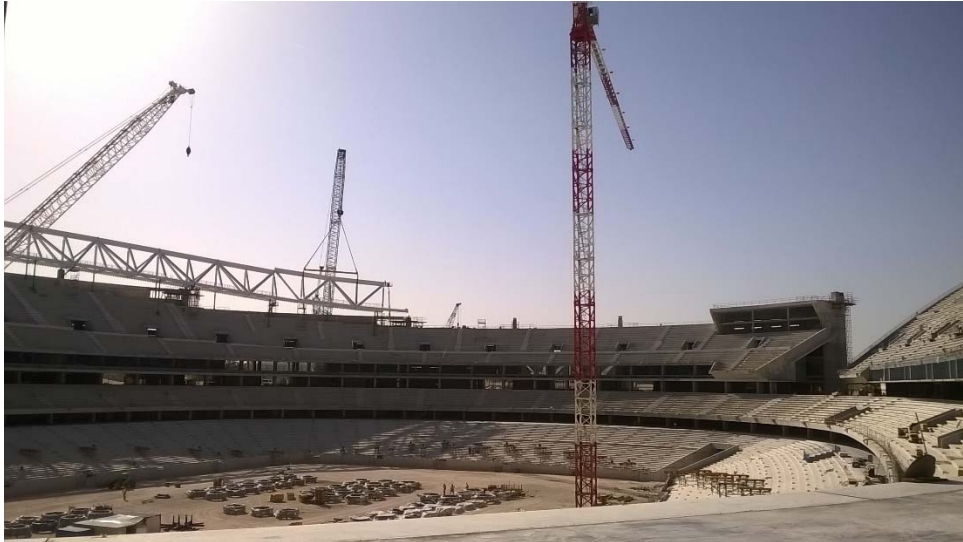
**Figura 11. Sección diametral y alzado interior de la maqueta**

El montaje de la cubierta sigue las siguientes fases:

- Montaje del anillo de compresión comenzando por la zona Este hacia el Norte y, posteriormente, de la zona Este hacia el Sur (Figura 12). Finalmente se monta sobre la zona Oeste (“Peineta”). Este montaje obliga a una serie de arriostramientos en diferentes apoyos y direcciones para estabilizar los elementos estructurales parciales.
- Extendido del anillo de tracción sobre las gradas y conexión mediante los cables radiales con el anillo de compresión.
- Izado parcial del cable superior del anillo de tracción tesando desde el cordón inferior del anillo de compresión.
- Montaje de las bielas de conexión de los dos niveles del anillo de tracción. Y conexión de ambos.
- Izado final del anillo de tracción elevando el cable inferior tesando desde el cordón superior del anillo de compresión.

### **Agradecimientos**

En ésta, como en toda obra colectiva, es importante citar la participación de aquellas instituciones y personas que han hecho posible la misma. Entre ellos, sin pretender abarcar a todos pero sí a los que han intervenido de forma más significativa en el proyecto y construcción de la estructura debe citarse a, Luis Rubín, José Manuel Tellado y Cristina Martínez (FCC Construcción) y Antonio Molina y Antonio Ramírez (NERVADOS). Y subrayar la participación en todo momento del Club Atlético de Madrid (Manuel Cifuentes), los proyectistas y Dirección de Obra (Antonio Cruz y Antonio Ortiz arquitectos), todo el equipo de MC2 y la dirección de obra de FCC Construcción (Fernando Bernaldo de Quirós, Víctor Rey y Gonzalo Esteras).



**Figura 12. Montaje del anillo de compresión**

### Referencias

- [1] J. Martínez-Calzón, Estructura del Estadio de atletismo de la Comunidad de Madrid, Hormigón y Acero, nº 196, Madrid, 1995, 91-95
- [2] A. Cruz y A. Ortiz, Ampliación del Estadio de Madrid, Informes de la Construcción, Vol. 56, nº 492, 2004
- [3] J. Martínez-Calzón, M. Gómez Navarro, M. Schlaich, Revista de Obras Públicas, nº 3502, 2009
- [4] J. Martínez-Calzón, J. Gómez-Hermoso, G. Ladrón de Guevara, D. Rodríguez-Muñoz, F. Rodríguez-Ballesteros, L. Rubín-Fierro, Expansion of Madrid Stadium: Foundation and Grandstands, Structural Engineering International (IABSE), Vol 24, 1 (2014), 45-48.
- [5] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008
- [6] UNE 12350