

Viga Museo del nuevo Edificio Oeste del estadio Santiago Bernabéu, Madrid

Museum Beam of the new West Building of the Santiago Bernabeu Stadium, in Madrid

José Martínez Salcedo^a, Alberto Curbelo Díaz^b, Alejandro Yustres Real^c, Santiago
del Río Rodríguez^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FCC Construcción. Director de Servicios Obras Especiales. JMartinez@fcc.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puerto. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPESA). Jefe de Proyectos. alberto.curbelo@mc2.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puerto. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPESA). Jefe de Proyectos. alejandro.yustres@mc2.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FCC Construcción. Servicios Técnicos. Jefe de Proyectos. SRioR@fcc.es

RESUMEN

La Viga Museo completa la estructura del nuevo Edificio Oeste del Estadio Santiago Bernabéu, sustentando 3 niveles de forjados. Su estructura, resuelta con dos megacelosías longitudinales de 107 m de largo y 10.5 m de canto, cuelga de la Corona con un esquema que le garantiza un comportamiento perfectamente isostático y estructuralmente independiente de la Corona. Las estructuras de conexión del estadio con la Viga Museo tienen que absorber las grandes deformaciones verticales y horizontales que experimenta esta última, debido a la relativa flexibilidad de la Corona, utilizándose para ello unos forjados denominados “deslizantes-basculantes”. La instalación de la Viga Museo se lleva a cabo con una operación de *heavy lifting* de la estructura completa.

ABSTRACT

The Museum Beam completes the structure of the new West Building of the Santiago Bernabeu Stadium, supporting 3 floor levels. This structure, which is composed of two longitudinal mega-trusses measuring 107 m in length and 10.5 m in height, hangs from the *Corona* with a support arrangement that guarantees a perfectly isostatic and structurally independent behaviour between one another. Connection structures between the stadium and the Museum Beam need to accommodate the large vertical and horizontal deformations experienced by the latter, due to the relative flexibility of the *Corona*. For this purpose, “tilting-sliding” floors were used. The installation of the Museum Beam is carried out with a heavy lifting operation of the entire structure.

PALABRAS CLAVE: estadio, estructura metálica, celosía Pratt, uniones atornilladas, bulones.

KEYWORDS: stadium, steel structure, Pratt truss girder, bolted connections, pin connections.

1. Introducción

La Viga Museo completa la estructura del nuevo Edificio Oeste, una de las estructuras más destacadas en el marco de la remodelación del Estadio Bernabéu [1], [2]. El conjunto archi-

tectónico de la Viga Museo consta de un volumen de 105 m de longitud, 10.5 m de canto y 7.5 m de ancho, colgado de la Corona, que alberga tres plantas: los dos niveles inferiores, interiores, están destinados al nuevo museo del Real Madrid -de donde adquiere su nombre-,

mientras que el nivel superior, exterior, se dedica a servicios de restauración. Este elemento debía permitir el acceso desde el estadio existente en la mayor parte de su

longitud, a pesar de que las luces de su apoyo distaban enormemente de las luces entre costillas del estadio existente.



Figura 1. Vista general del Edificio Oeste [3]

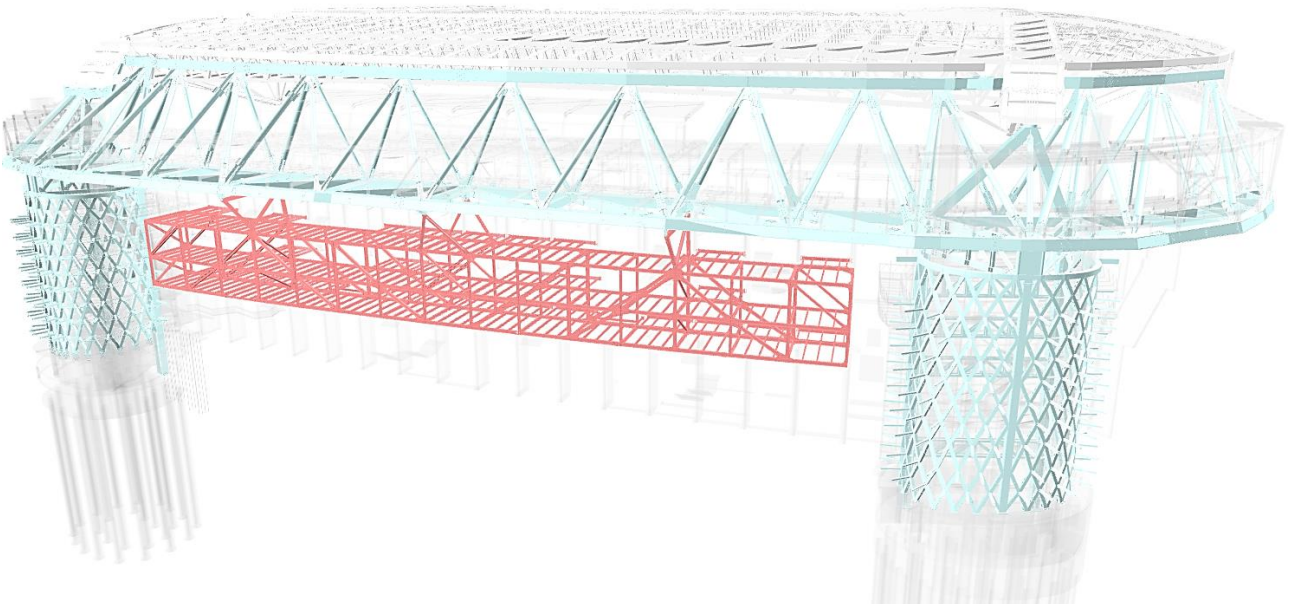


Figura 2. Vista general 3D de la Viga Museo

2. Esquema estructural

2.1 Esquema resistente longitudinal

La Viga Museo está formada por dos planos verticales de megacelosías Pratt, uno exterior y otro interior, de 107 m de largo, 10.5 m de canto y separadas 7.5 m. Dichas celosías, que presentan un cordón intermedio además del inferior y superior, conforman el perímetro de este elemento y muestran una ligera curvatura en planta para adaptarse a la geometría de la estructura existente del estadio.

La Viga Museo cuelga de la Corona con un esquema que le garantiza un comportamiento perfectamente isostático, permitiendo su independencia estructural (ver apartado 2.4).

La distribución de montantes de las megacelosías viene determinada por la posición de las costillas existentes (aproximadamente cada 7.0 m), para mejorar la permeabilidad entre la estructura existente y crear amplios pasillos entre ambos elementos.

Los cordones, montantes y diagonales se resuelven en general con perfiles HEB/HEM (HEB300 a HEM400 de acero S355), salvo las diagonales principales que se materializan a través de perfiles armados en acero S460, debido a la envergadura de los esfuerzos.

De cara a minimizar los esfuerzos y las deformaciones de esta estructura, se colocaron los puntos de cuelgue de la Viga Museo a 1/5 de su longitud total (ver figura 5), coincidiendo con unas costillas existentes del estadio y haciendo coincidir también dos nudos de la Corona, para lo cual fue necesario ajustar ligeramente la modulación de esta última.

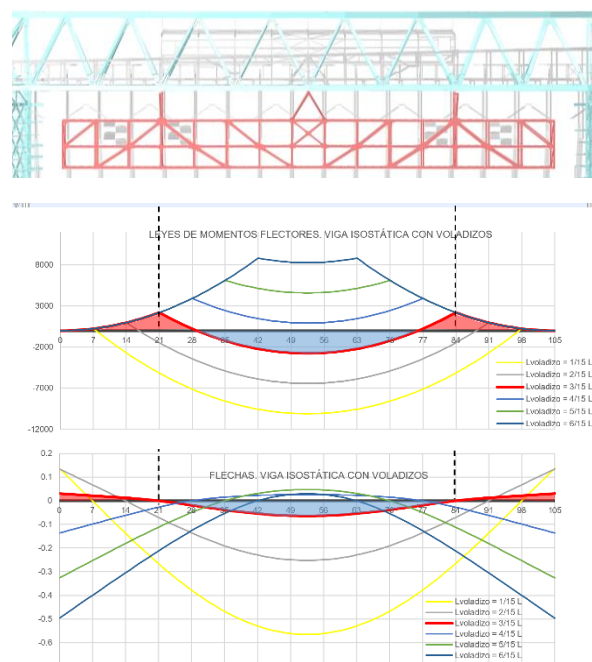


Figura 3. Análisis nudos óptimos de cuelgue

Como es la tónica general de la obra, este elemento se ha montado mediante uniones atornilladas, empleando cubrejuntas en las proximidades de los nudos, según se muestra en la siguiente figura.

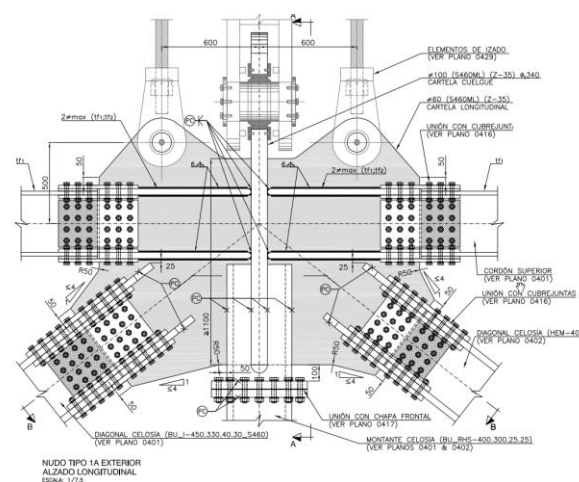


Figura 4. Nudo principal Viga Museo

Entre las dos celosías principales se colocan tres niveles de forjados, correspondientes a los cordones inferiores, intermedios y superiores de las celosías.

2.2 Esquema resistente transversal

La rigidez transversal se consigue mediante marcos formados por los montantes verticales de las celosías principales y por vigas-dinteles radiales tipo HEB400 en coincidencia con los forjados, que, mediante uniones rígidas, dotan a la estructura de un comportamiento resistente tipo Vierendeel frente a las acciones horizontales.

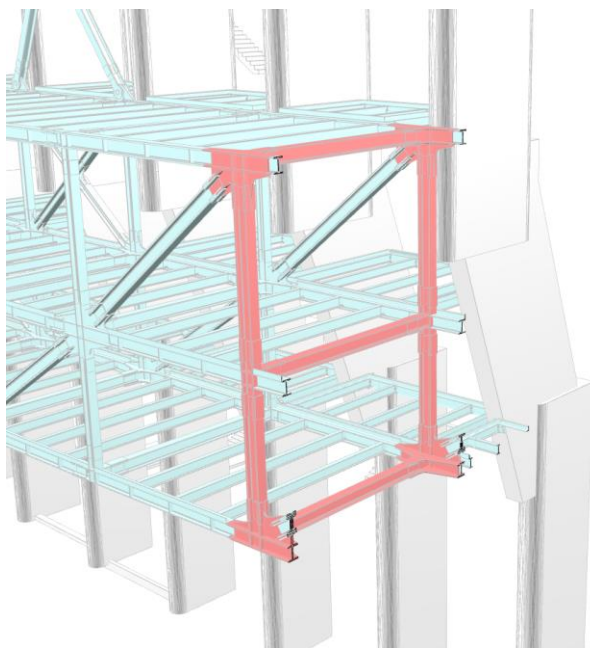


Figura 5. Rigidez transversal. Marcos Vierendeel

Con el avance del proyecto de fachada y los estudios de dinámica de fluidos desarrollados por el equipo de fachada, se determinó que el viento que incidía sobre la Viga Museo era superior al originalmente estimado, por lo que se dispusieron, adicionalmente, dos diafragmas transversales en correspondencia con los puntos de cuelgue. Estos diafragmas se resolvieron mediante la diagonalización de los marcos de cuelgue, con un único elemento por módulo para permitir la circulación interior y que, por tanto, debía resistir tracciones y compresiones.

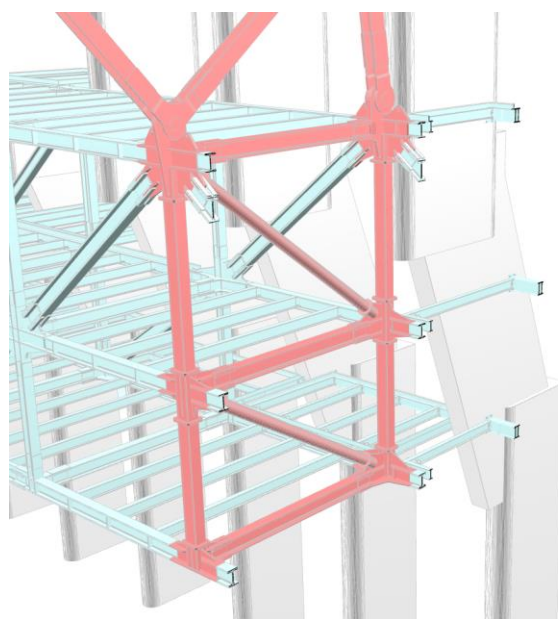


Figura 6. Rigidez transversal. Diagonalización marcos de cuelgue

2.3 Forjados

La estructura horizontal se resuelve con forjados mixtos formados por una chapa nervada colaborante tipo EUROCOL 60 (60+90), sobre vigas radiales tipo IPE300 dispuestas cada 1.75 m aproximadamente (la separación real es ligeramente variable debido a la configuración radial de las mismas por la ligera curvatura en planta). Estas viguetas se conectan a los cordones de las celosías principales mediante uniones atornilladas de alma. La excepción la constituyen las vigas coincidentes con los nudos principales de la celosía, donde los dinteles de los marcos transversales anteriormente descritos constituyen la viga del forjado.

2.4 Cuelgue de Viga Museo e independencia de la Corona

Para el cuelgue de la Viga Museo se ha buscado un diseño que independizara al máximo el comportamiento de ésta respecto a la Corona, asegurando un comportamiento puramente isostático de la primera.

El sistema de conexión (ver Figura 7) se materializa mediante dos sistemas de cuelgue que dan estabilidad tanto vertical como

transversal a la fachada, mientras que la coacción horizontal longitudinal de la Viga Museo se produce en el centro de vano de Viga Museo y Corona; siendo todas las uniones bulonadas.

Para asegurar la perfecta articulación de los dos cuelgues en dirección longitudinal y, por tanto, garantizar su comportamiento como biela, se han dispuesto rótulas esféricas en cada uno de estos nudos.

En dirección transversal, sin embargo, los cuelgues presentan una triangulación de barras

articuladas que “empotran” transversal y torsionalmente la Viga Museo a la Corona.

En el bloqueo longitudinal central, para garantizar que no haya transmisión de cargas verticales, el detalle se realiza mediante bulones alojados en cartelas que descuelgan de la Corona con taladro rasgado en la dirección vertical. La holgura vertical dispuesta es de ± 100 mm, suficiente para absorber las deformaciones diferenciales provocadas por las sobrecargas de uso tanto en la Corona como en la Viga Museo.

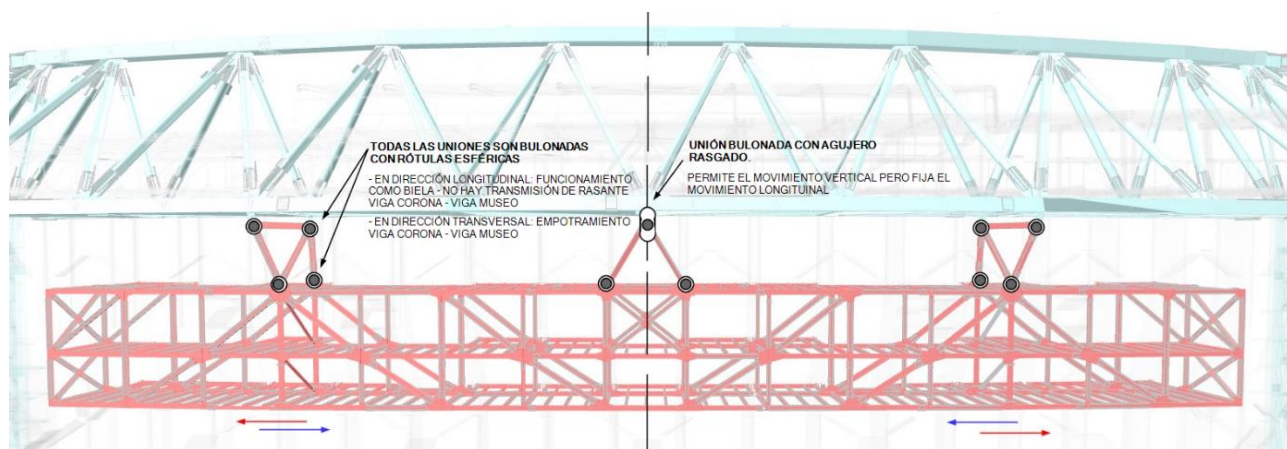


Figura 7. Esquema de grados de libertad de la estructura de cuelgue de la Viga Museo

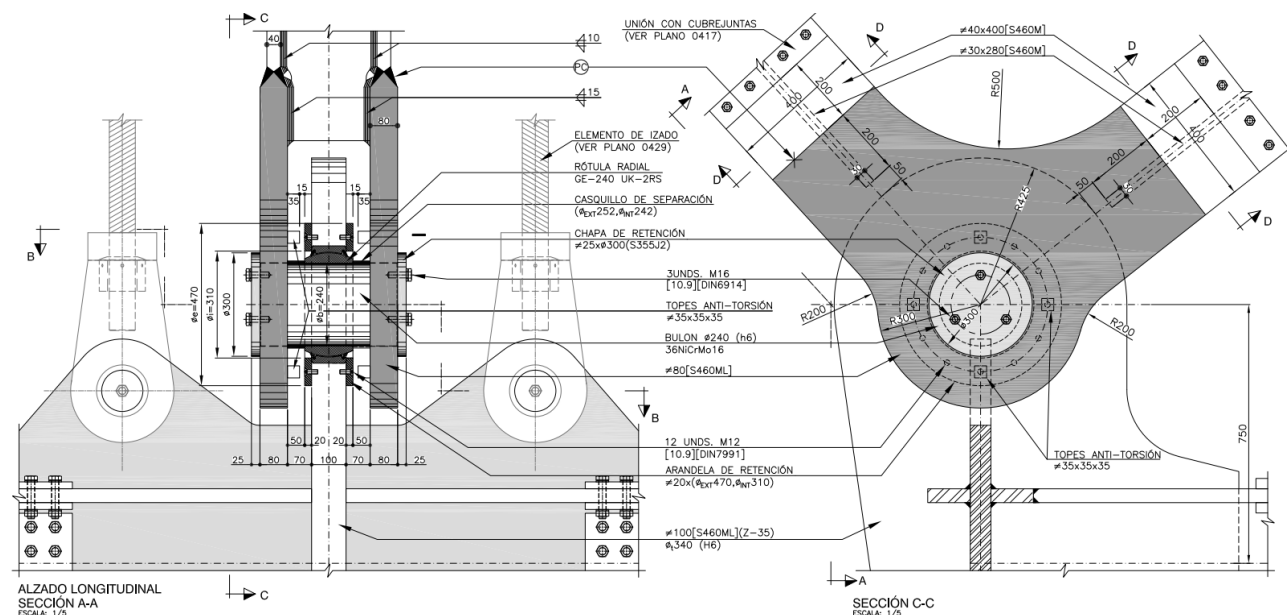


Figura 8. Cuelgue vertical entre Viga Museo y Corona. Nudo inferior

La independencia entre estas megaestructuras tiene múltiples ventajas: no solamente mejora el esquema estructural global del

conjunto del Edificio Oeste, simplificando además su cálculo, si no también permite independizar las diferentes fases de

construcción, evitando así posibles procesos de transferencia activa de carga.

Debido a que el ancho inferior de la Corona es mayor que el de la Viga Museo, las conexiones longitudinales no pertenecen a un plano vertical, sino que están dispuestas sobre planos inclinados formados por los cordones de la Corona y de la Viga Museo.

Todas las barras que forman los cuelgues horizontales y verticales son perfiles en H que permiten fácil acceso a las uniones atornilladas con cubrejuntas, necesarias para un montaje rápido de las barras durante el izado de la viga museo.

3. Independencia entre Viga Museo y forjados existentes

Uno de los principales retos en el diseño de esta estructura era la materialización de las conexiones entre los forjados del edificio existente y la Viga Museo, estructuras con configuraciones de apoyos y luces muy diferentes y, por ende, comportamientos deformacionales alejados entre sí.

Era necesario absorber las grandes deformaciones verticales y horizontales experimentadas por la Viga Museo (bajo las acciones gravitatorias y horizontales de viento), y que surgen de la relativa flexibilidad vertical y torsional de la Corona de la que cuelga.

Para garantizar la conexión entre ambas estructuras se han diseñado unos forjados deslizantes-basculantes capaces de absorber los movimientos relativos. Los movimientos

diferenciales verticales se absorben con giros mediante un sistema de doble rótula, dispuestas en cada uno de los extremos de los forjados (de tipo biela); mientras que los movimientos horizontales se permiten mediante el deslizamiento en un sistema de junta deslizante.

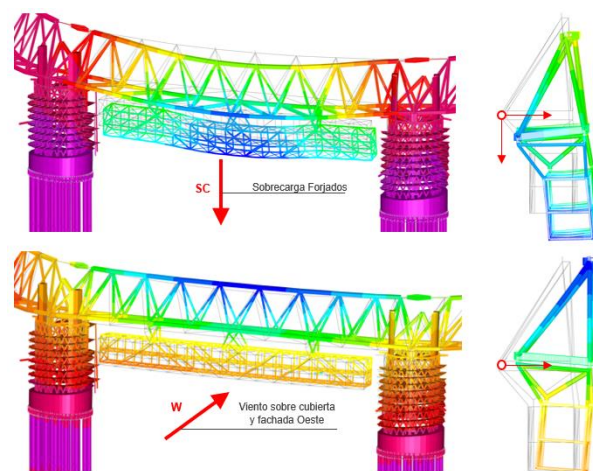


Figura 9. Movimientos relativos entre viga museo y forjados existentes

Debido a las flechas experimentadas por la Viga Museo, la diferencia de cotas verticales que deben asumir los forjados basculantes va desde +110 a -40 mm (valores positivos para los descensos). La magnitud del desplazamiento horizontal radial que deben asumir estas juntas es de +145/-45 mm (positivo hacia el estadio) únicamente con sobrecargas. Sin embargo, el forjado se conectó antes de la colocación de cargas muertas en Corona y Viga Museo, por lo que finalmente el recorrido máximo resulta ser de +205/-45 mm. En dirección longitudinal a la viga museo, los movimientos previstos son de ± 40 mm.

El sistema diseñado, mostrado en las siguientes figuras, permite acomodar todos estos movimientos, y sus giros asociados.

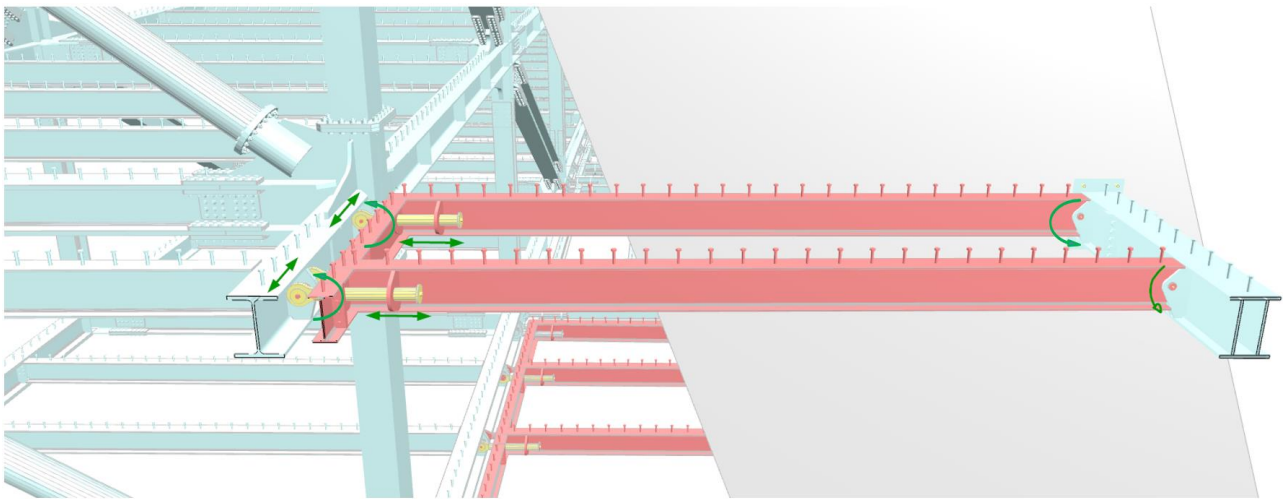


Figura 10. Forjados basculantes-deslizantes entre Viga Museo y forjados existentes

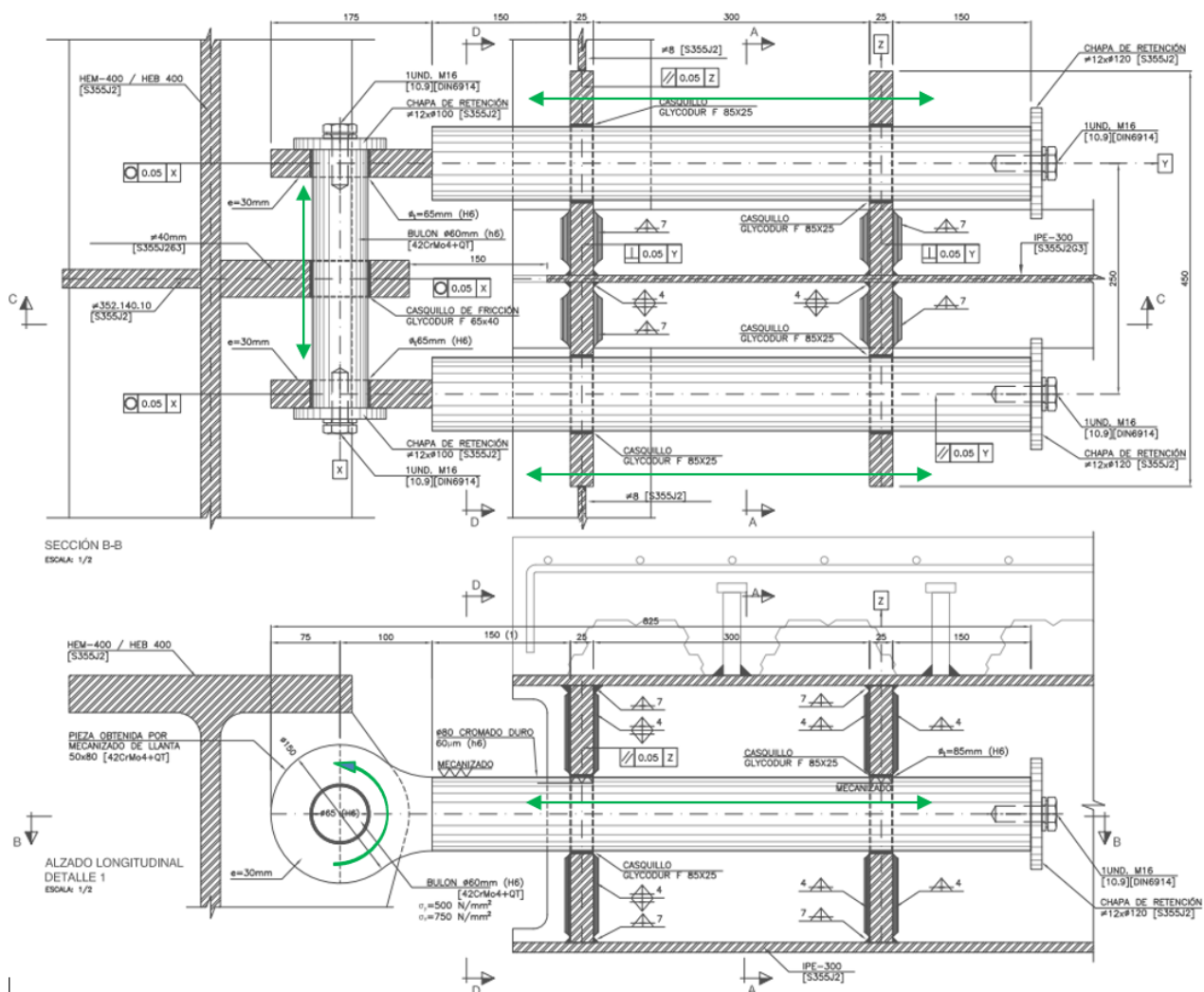


Figura 11. Detalle conexión forjados basculantes-deslizantes

4. Procedimiento de montaje. *Heavy lifting.*

Para realizar el montaje de la Viga Museo se reutilizó la plataforma elevada que se había empleado en el montaje de las cerchas

principales de la cubierta fija. Esto permitió trabajar en la estructura de la Viga Museo mientras se seguía teniendo acceso a la parte inferior del estadio. Sobre esta plataforma se montó la estructura metálica de la Viga Museo mediante uniones atornilladas.

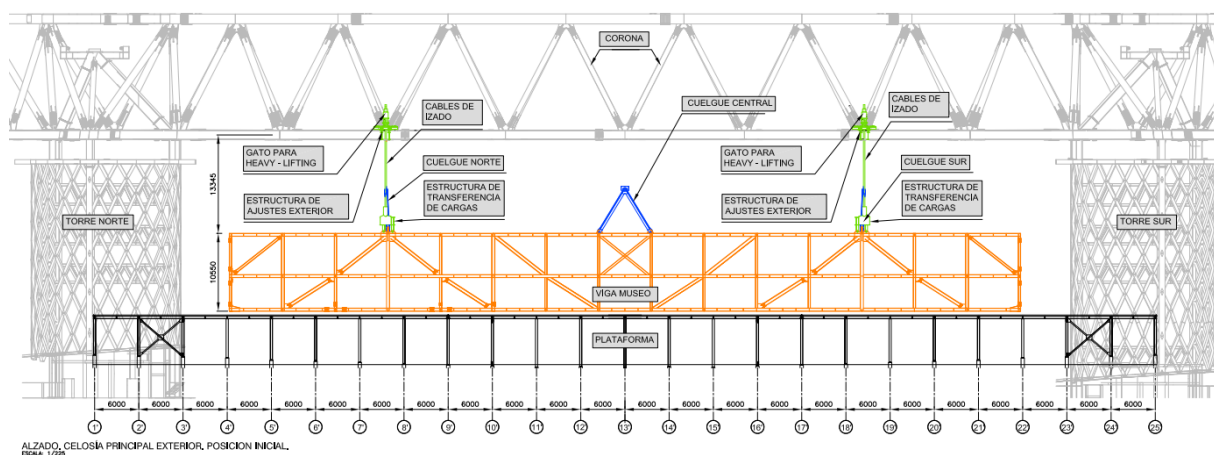


Figura 12. Esquema de izado de Viga Museo

Una vez acabada la estructura metálica de la Viga Museo, así como la chapa plegada de los forjados colaborantes con la que se iba a levantar, se colocaron los gatos de izado sobre ménsulas ancladas a los cordones inferiores de la Corona. A parte de realizar un cuidadoso replanteo para colocar los gatos en la vertical de los puntos de izado, estos gatos estaban dotados de sistemas de ajuste de posición en planta para adaptar su posición de izado a la posición real de los puntos de cuelgue instalados en la Viga Museo. También permitían ligeros movimientos que facilitaban las conexiones finales a realizar.

Dado que la Corona y la Viga Museo no tienen el mismo ancho entre cordones, fue necesario colocar una viga intermedia a modo de balancín en cada uno de los dos puntos de izado. Cada viga balancín recogía el cuelgue de dos de los gatos de izado. Se emplearon 4 gatos de *heavy lifting* para realizar la operación. Por la posición

del centro de gravedad de la Viga Museo con respecto a la Corona, los gatos más cercanos al estadio recibían una carga 2.5 veces superior a la carga de izado de los gatos más exteriores al estadio. La horizontalidad de la estructura se garantizaba sincronizando el avance de los cables en cada uno de los 4 puntos.

El peso total de la estructura izada ha sido de 800 t, y la carrera total de izado de 14 m.

Una vez llegada la Viga Museo a su posición definitiva, se procedió a conectar los cuelgues de cargas verticales y horizontales. Para ello, en las barras de los cuelgues se dispusieron uniones atornilladas con cubrejuntas adyacentes a cada bulón, con el objeto de que la unión final se produjese en esos tornillos, viniendo los bulones ya introducidos en sus rótulas desde el taller, puesto que las tolerancias de las uniones bulonadas, micrométricas, habrían imposibilitado el montaje en obra.

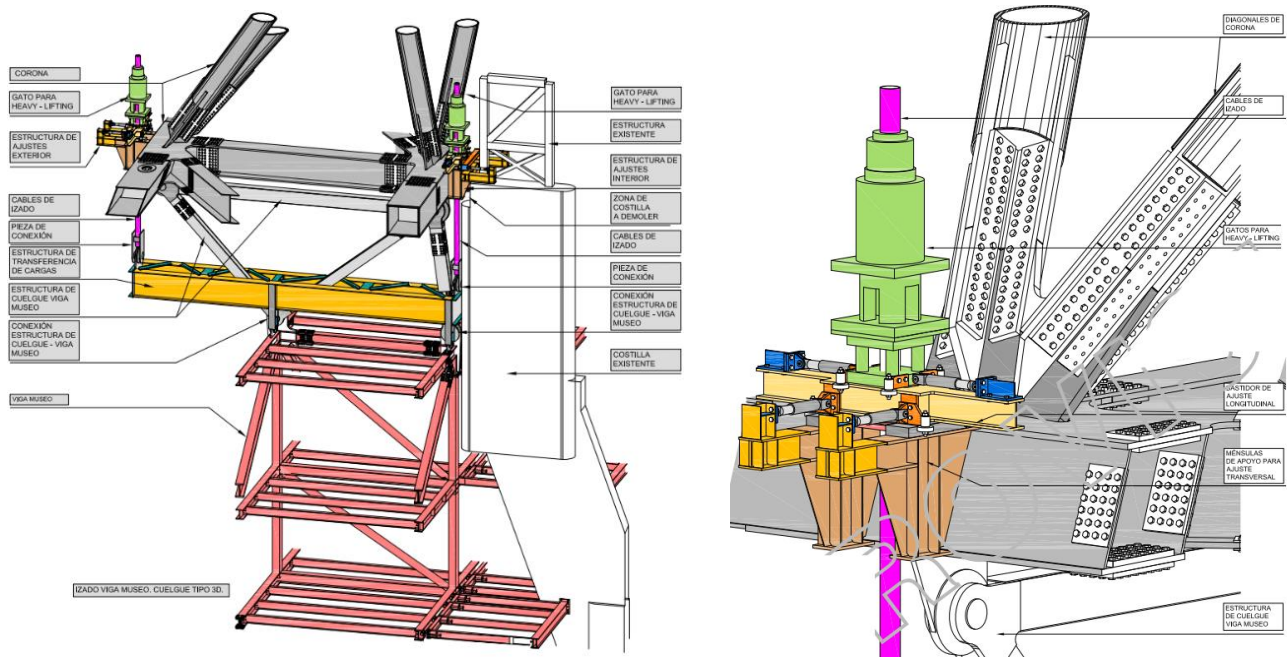


Figura 13. Izado Viga Museo desde Corona. Sistema de cuelgue y viga balancín.

Finalmente, se realizó la conexión longitudinal central, quedando la Viga Museo con su esquema estático definitivo. Una vez realizadas

todas las conexiones, se transfirió la carga a los elementos definitivos soltando ligeramente los gatos de izado.



Figura 14. Conexión cuelgues verticales viga museo pendientes de realizar



Figura 15. Izado Viga Museo desde Corona [3].

5. Conclusiones

El diseño de la Viga Museo se ha llevado a cabo siguiendo unos conceptos básicos orientados a garantizar el comportamiento isostático de la misma y la independencia estructural entre ésta y la Corona. Para ello, se han buscado soluciones estructurales más habituales en puentes metálicos que en estructuras de edificación.

Este concepto ha cobrado especial relevancia a la hora de tener que simultanear las obras de remodelación con la actividad propia del estadio.

Agradecimientos

En una obra tan singular y donde la coordinación entre equipos es imprescindible, es necesaria la confianza mutua entre todas las personas que participan en su diseño y construcción. Muchas personas han tenido una participación fundamental en este proceso: en particular, además de la colaboración con el equipo de arquitectura de Typsa, encabezado por Manuel Bernabé, queremos agradecer el apoyo de la Asistencia a la Obra, de Antonio Molina

(Ayesa), del gerente José Luis Sanchez Largo y, sin duda, del equipo de obra, liderado por Manuel Rodríguez San Juan y Ángel Lanusse.

La estructura metálica de las tres partes que componen este edificio fue fabricada y montada por Inbersa, y las maniobras de izado por BBR/FCC (Juan Manuel Linero).

Referencias

- [1] J. Martínez Salcedo, J.J. Mateos Hernández-Briz, P. Bartalotta, A. Yustres A. Curbelo, G. Ladrón de Guevara. Torres B y C del edificio Oeste del estadio Santiago Bernabéu. IX Congreso de ACHE. Granada, 2025.
- [2] J. Martínez Salcedo, J.J. Mateos Hernández-Briz, A. Yustres, A. Curbelo. Corona del nuevo Edificio Oeste del estadio Santiago Bernabéu, Madrid. IX Congreso de ACHE. Granada, 2025.
- [3] Foto cedida por nuevoestadiobernabeu.com
Copyright © 2024 Nuevo Estadio Bernabéu.