

## Aspectos singulares del Proyecto de Estructura de Cubierta de la Nueva Sede del Banco Popular en Madrid

*Singular aspects of the New Headquarters Popular Bank roof structure, in Madrid.*

### Ángel VIDAL VACAS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

MC2 Estudio de ingeniería

Ingeniero

[angel.vidal@mc2.es](mailto:angel.vidal@mc2.es)

### Álvaro SERRANO CORRAL

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

MC2 Estudio de Ingeniería

Director Técnico

[alvaro.serrano@mc2.es](mailto:alvaro.serrano@mc2.es)

### RESUMEN

La construcción de la Nueva Sede del Banco Popular en Madrid se ha desarrollado en dos fases. Una primera en la que se proyectó y construyó el nuevo edificio para el Centro de Proceso de Datos, junto a la Nacional II, entrando en uso en enero de 2013. La segunda fase tiene actualmente ejecutada la totalidad de la estructura y está prevista su finalización completa en junio de 2017. La cubierta metálica de esta segunda fase resuelve con amplios voladizos y puentes la comunicación y volúmenes arquitectónicos a nivel de la planta presidencial y cubierta, entre los cuatro edificios que conforman el complejo.

### ABSTRACT

The construction of the New Headquarters Popular Bank building has been developed in two phases. At first, it was designed and built the new Data Processing Center building next to Nacional II road in Madrid, coming into use at January 2013. Currently the entire of the second phase structure is finished and it is planned its whole completion in June 2017.

This second phase structure roof resolves the communication and architectural volumes by means long spans and cantilevers on presidential and roof levels, among the four office buildings that form the complex.

**PALABRAS CLAVE:** Coordinación disciplinas, soportes mixtos, deformaciones impuestas, apoyo oscilante, izado

**KEYWORDS:** Disciplines coordination, composite columns, imposed strain, rocker bearing, lift

### 1. Antecedentes

En el mes de Octubre de 2008 el Banco Popular convocó un concurso para el proyecto de su nueva sede en Madrid, a desarrollar en dos parcelas separadas, situadas a ambos lados de la carretera Nacional II en su salida de Madrid. La primera parcela situada en la calle Abelias, en el margen norte de la carretera, albergaría en un único edificio el nuevo Centro de Proceso de Datos (CPD) del banco y oficinas. La segunda fase se desarrollaría en la parcela resultante de la unión de aquella en la que se situaban el antiguo CPD del Banco Popular, en el margen sur de la Nacional, y la parcela contigua donde se encontraban los talleres de rotativas del diario ABC, en la calle Luca de Tena.



**Figura 1. Localización del desarrollo de la nueva sede**

De los siete equipos que se presentan al concurso, resulta ganador el equipo dirigido por el estudio madrileño Arquitectos Ayala, del que MC2 Estudio de Ingeniería forma parte para el desarrollo del proyecto de estructuras y la posterior asistencia técnica de estructuras a la Dirección de Obra.



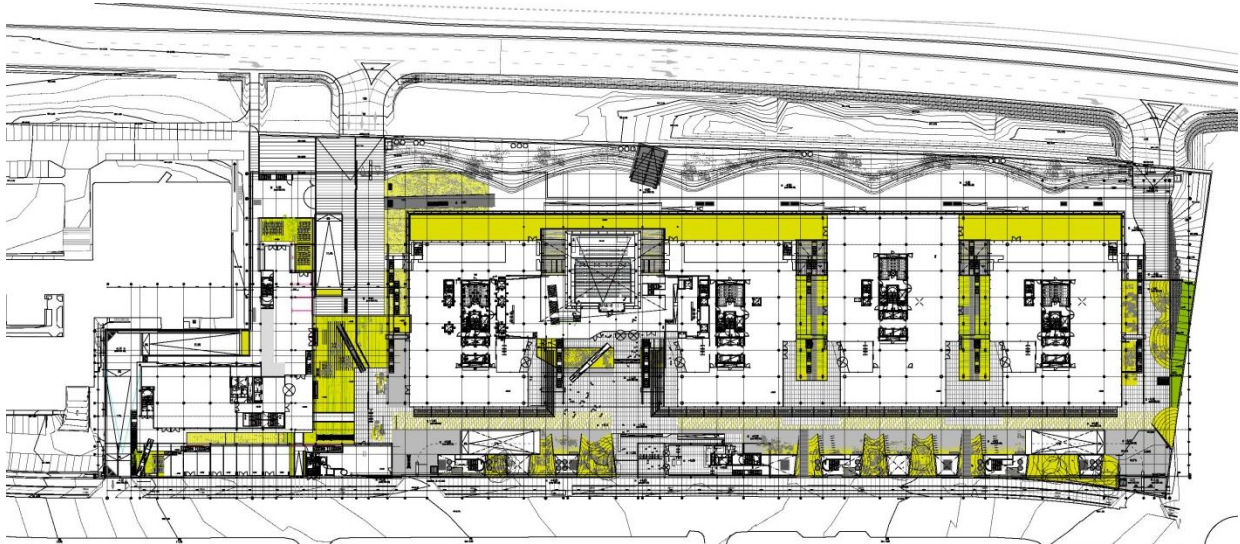
**Figura 2. Edificio del Centro de Proceso de Datos en la calle Abelías (fase 1)**

## **2. Planteamiento arquitectónico**

Una característica significativa del desarrollo del proyecto, que determina el diseño de las soluciones arquitectónicas y estructurales, es el fluido trabajo conjunto de los equipos de arquitectura y estructura desde el comienzo del proyecto y hasta el desarrollo de los últimos detalles. Partiendo sobre la base del concepto arquitectónico seleccionado por la Propiedad, se desarrollan conjuntamente diseños particulares que integran requerimientos arquitectónicos, funcionales, estructurales y constructivos.

## 2.1. Base conceptual arquitectónica del planteamiento de la sede

La parcela tiene forma rectangular, con su lado mayor, de unos 315 metros de longitud paralelo a la Carretera de Barcelona. La dimensión perpendicular es de unos 96 metros, que se escalonan en el borde noroeste contiguo al edificio actual de la redacción y sede del diario ABC.



**Figura 3. Planta general de la sede**

La disposición de la sede se forma por tanto en torno de un gran rectángulo edificado, que se divide en cuatro módulos o bloques (A-D) que recogen el cuerpo principal de oficinas. En el extremo oeste aparece un edificio de configuración diferenciada destinado a albergar servicios varios para el complejo, y de acceso público: centro comercial, sucursales, etc.

Los bloques tienen cinco niveles sobre la rasante de la calle Luca de Tena, situándose en la planta cuarta el área presidencial, que al igual que la planta quinta de cubierta se extiende conectando entre sí los cuatro bloques en los frentes de fachada. De este modo se formalizan grandes voladizos y “puentes” entre bloques en estos niveles cuarto y quinto, cuya composición estructural debe integrar además el apoyo de máquinas y pantallas anti-ruido en la planta cubierta.



**Figura 4. Vista general de la cubierta. Fachada norte. Agosto 2016.**

Las unidades tipológicas que se plantean en la cubierta son:

- Entre los bloques A y B son necesarios sendos “puentes” que los comuniquen tanto en la fachada norte como la fachada sur. La distancia entre apoyos es de 46.80 m.
- Hacia la Nacional II avanzan las plantas cuarta y quinta en voladizo de 7.80 m de luz, a excepción del bloque C, que al estar retranqueado forma los voladizos en dirección sur.
- El resto de bloques quedan unidos entre sí por medio de puentes de menor longitud, con distancias entre apoyos de 9.50 m.

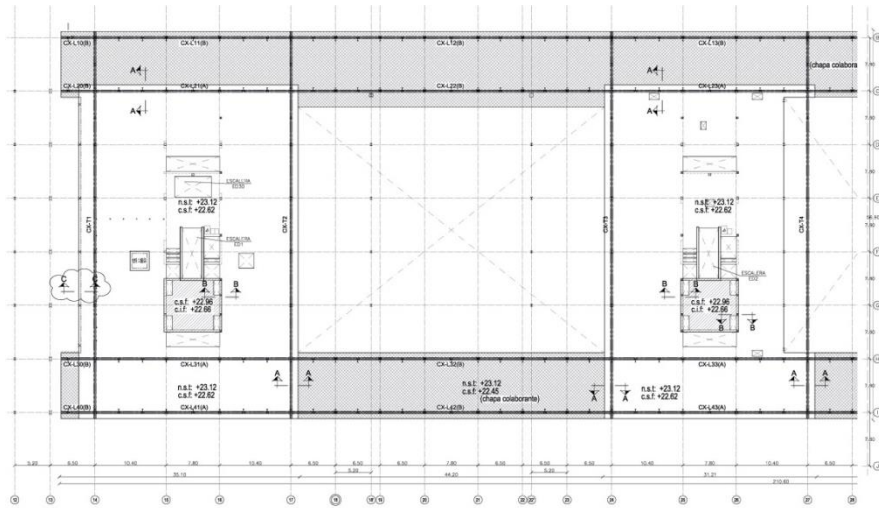


Figura 5. Nivel de planta cubierta (quinta). Mitad oeste. Bloques A y B.



Figura 6. Nivel de planta cubierta (quinta) . Mitad este. Bloques C y D.

## 2.2. Resumen de parámetros arquitectónicos y funcionales de mayor influencia en el diseño de la estructura de cubierta

El planteamiento arquitectónico del conjunto, las condiciones geométricas del entorno y los requerimientos funcionales, fijan los parámetros que condicionan el desarrollo de la estructura de cubierta. Los principales son:

- La planta cuarta debe mantener lo más diáfana posible y próxima a la distribución de elementos verticales situados debajo de ella. En por esto que el cuerpo principal de la estructura de cubierta debe encontrarse por encima de la cubierta. La planta cuarta se descuelga por medio de tirantes que siguen el módulo geométrico de los soportes, dejando la

planta en condiciones de circulación equivalentes al resto de plantas de oficinas. Es recomendable por tanto reducir peso en la planta para optimizar la estructura.

- Sobre la cubierta se sitúan las instalaciones principales del edificio, con grupos electrógenos, enfriadoras, etc, además de la formación de cubierta (impermeabilización, aislamiento, pendienteado, etc.). La estructura debe por tanto prever las cargas y colocación de estas máquinas y el trazado de conducciones.
- La intersección entre voladizos y “puentes” hace que éstos últimos presenten uno de los apoyos de cada extremo, el que se recibe en voladizo, más flexible que el apoyo que es directamente recibido por un soporte. Esto supone tener que compensar los movimientos relativos con ajustes de contraflechas en la fabricación de la estructura.
- Los soportes de apoyo reciben cargas diferentes según reciben voladizos, puentes o ambos a la vez. En el primer caso la carga mayorada de referencia en cada apoyo es 14000 kN, en el segundo 10000 kN, mientras que en el caso de recibir el apoyo la carga de un puente grande y un voladizo la carga de referencia es de 27000 kN (mayorada).
- Al situarse por encima de la cubierta, la estructura de la misma se encuentra fuera de la envolvente del edificio y por tanto sometida a cambios térmicos de ambiente exterior.

En el siguiente apartado se presentan las soluciones estructurales que resuelven las condiciones arquitectónicas planteadas.

### 3. Solución estructural

#### 3.1. Descripción de la estructura de cubierta

Teniendo en cuenta los condicionantes del proyecto, se diseña un sistema de celosías metálicas autoportantes, de 3.60 m de canto, que dispuestas formando un emparrillado en la cubierta permiten su ejecución.



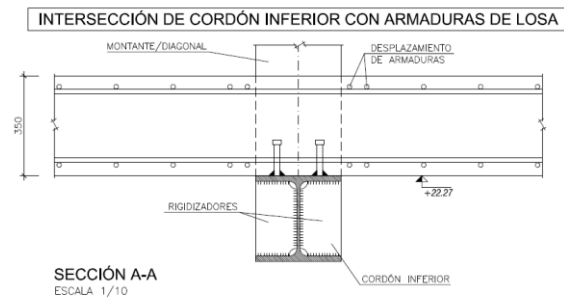
**Figura 7. Puentes sur (primer plano) y norte (al fondo) entre bloques A y B, con planta cuarta suspendida**

La altura a la que precisan ser colocadas, y el tamaño del edificio hacen necesaria la utilización de grúas automóviles como medios de izado, de modo que las uniones de proyecto se plantean atornilladas, ya que permiten un pre-montaje provisional rápido y seguro para liberar los medios de izado.

Las piezas fabricadas en taller son soldadas, distribuyendo los cortes de modo que las piezas puedan ser izadas de manera óptima.

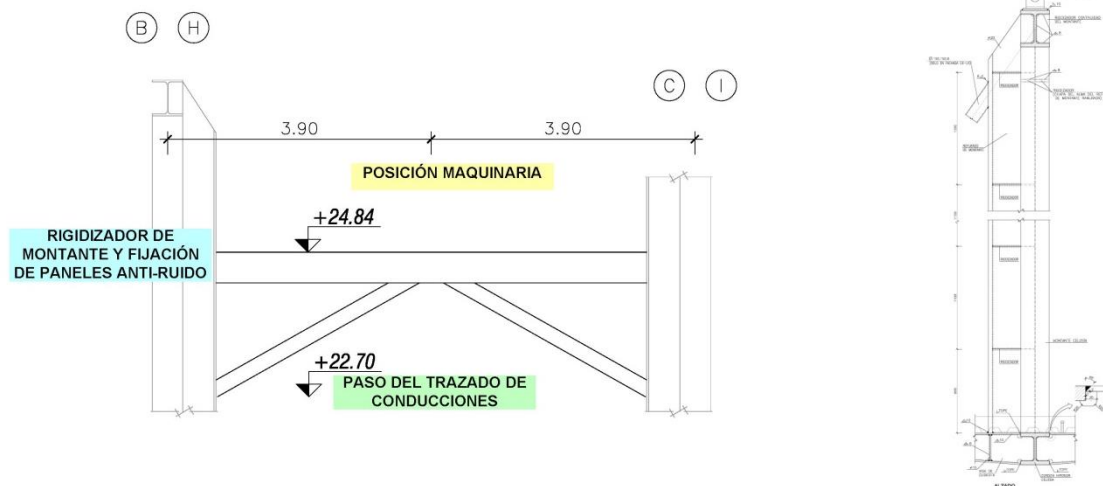
Las características principales de la estructura son:

- Las celosías metálicas se disponen de modo que el cordón inferior queda bajo la cara inferior del forjado de cubierta, conectándose al mismo mediante conexión flexible de tipo “pernos”.
- Las diagonales y montantes atraviesan el plano de cubierta. Parcialmente quedan expuestas al ambiente exterior, al igual que el cordón superior.



**Figura 8. Cordón inferior bajo losa de cubierta**

- En todas las zonas “voladas”, es decir, fuera de la huella de los bloques, la tipología de forjado elegida es mixta de chapa colaborante de 180 mm de espesor total (120+60), con objeto de aligerar pesos.
- La estructura metálica secundaria de los forjados “colgados” en planta cuarta y cubierta, se conforma con viguetas conectadas a la losa, con luces estándar de 7.80 m.
- Las celosías apoyan en continuidad, de modo que aparecen zonas en las que el cordón superior se tracciona y otras en las que se comprime. Esto último impone una fuerte condición de arriostamiento del cordón superior para evitar su pandeo. Sin embargo entre las celosías deben colocarse todas las máquinas de instalaciones del edificio, de modo que no son posibles, salvo en secciones puntuales, arriostamientos entre cordones superiores. Este hecho lleva a la conveniencia de incorporar la subestructura de bancadas para maquinaria a la estructura de cubierta. Se diseña entonces un sistema portante en forma de K invertida, que a modo de diafragma se repite cada 3.45 m ó 3.90 m, uniendo las celosías longitudinales entre sí. Las máquinas apoyan en la parte superior de la K y las conducciones discurren por la parte inferior, entre las diagonales.
- El sistema anteriormente descrito no llega a conectar con los cordones directamente, no obstante sí que permite reducir la longitud de flexión lateral de montantes y diagonales. La rigidez que falta para controlar los desplazamientos laterales se logra mediante la rigidización del montante de la celosía con una sección en T adicional colocada en el interior, para no interferir con la fachada. aumentando la carga crítica de pandeo global del conjunto.



**Figura 10. Bancada para apoyo de máquinas y arriostamiento elástico del cordón superior**

- La cubierta se diseña sin juntas de dilatación, toda ella continua, de modo que la acción térmica se tiene en cuenta en el análisis, incluso en el análisis no lineal geométrico de las cubiertas.

### 3.2. Particularidades del análisis estructural

Son varios los muchos los fenómenos interesantes que se presentan en el análisis de la cubierta. Se repasan sucintamente sólo algunos de ellos.

#### 3.2.1. Incidencia de la temperatura y arriostamiento del cordón superior

La disposición de las celosías sigue la tipología frecuentemente utilizada en puentes ferroviarios, por ejemplo, de cordón superior elásticamente apoyado en sentido transversal. Depende por tanto de la rigidez que aportan montantes y diagonales la carga crítica de pandeo del conjunto del cordón.

Al encontrarse el cordón inferior conectado a la losa, y sometido a cambios térmicos reducidos respecto al cordón superior (exterior), los incrementos térmicos en el exterior imponen muy importantes aumentos de axiles, motivados fundamentalmente por la restricción que al desplazamiento longitudinal del cordón superior aportan las diagonales inclinadas, que funcionan como puntales. El axil así impuesto por la temperatura en los cordones superiores presenta magnitud prácticamente constante en toda la longitud, independientemente de su tamaño.

Las conclusiones que se desprenden de ello son:

- La incidencia de la temperatura en el cordón superior genera longitudes de pandeo superiores a las que niveles de axiles equivalentes producidos por la flexión de la propia celosía, pues éstos son variables según la distancia a los apoyos.
- Puesto que se generan puntos de restricción al movimiento longitudinal del cordón superior en cada diagonal, es decir cada 3.45-3.90 m, el movimiento transversal del cordón iniciado por el pandeo no permite disipar apenas el axil, como sí ocurre cuando los puntos fijos del movimiento están más separados. Sólo en una forma de pandeo que tenga por nodos los nudos con las diagonales permite disipar con eficacia, y en segundo orden, los axiles de temperatura. Por tanto los axiles de temperatura deben ser considerados en la comprobación de pandeo global.

- Dado el alto nivel de coacción que impone la losa inferior al movimiento longitudinal del cordón superior, la incidencia de la temperatura en el diseño es muy importante. Las acciones térmicas deben ser estudiadas y aplicadas de manera ajustada para evitar sobredimensionamientos que pueden ser importantes y afectar a zonas extensas. Aspectos como el soleamiento y la orientación de la pieza, su color y la temperatura considerada durante el montaje deben ser considerados con detalle.

Con carácter general el principio de diseño ha sido tratar de aportar rigidez suficiente a los montantes por medio de refuerzos y la estructura de las bancadas, para reducir la longitud de pandeo global.

Para el diseño de la cubierta se realizaron varios modelos con objeto de calibrar la incidencia de las cargas sobre la estabilidad del cordón superior y su dimensionamiento. Se realizaron dos grupos de modelos:

- Modelos elásticos lineales de primer orden para dimensionamiento y calibración de las longitudes de pandeo.
- Modelo elástico lineal de segundo orden, con no linealidad geométrica, para el análisis y comprobación a partir de una deformada afín al modo de pandeo global, según 22.3.5 EAE [3].

### 3.3. Particularidades del diseño

#### 3.3.1. Apoyos en compresión. Apoyos oscilantes embebidos.

Los apoyos que reciben las mayores reacciones de compresión por parte de las celosías, obviamente los últimos antes de los voladizos, se encuentran además en el plano de la losa, y por tanto con el desplazamiento horizontal impedido. Ello obliga a que el nudo superior del montante se desplace en horizontal arrastrando al montante. En los casos en los que las reacciones verticales son mayores (hasta 27000 kN mayorados), la carga localizada del apoyo es preciso transmitirla a un soporte armado metálico embebido dentro del de hormigón. Sus dimensiones, impuestas por el valor de la reacción y la geometría de los elementos, hacen que aporte una rigidez importante al apoyo, que en caso de que éste mantuviera continuidad con el montante superior de la celosía conduciría a esfuerzos de flexión en el montante no asumibles. Es por tanto necesario liberar rigidez para que la reacción se mantenga lo más centrada posible en el soporte.

Para ello se han diseñado apoyos oscilantes esféricos en estos puntos a partir del mecanizado de piezas de acero estructural, que permiten liberar las importantes flexiones de empotramiento del perfil embebido. La envolvente del soporte de hormigón armado se prolonga hasta conectarla, con un armado mínimo, a la losa para así recoger los esfuerzos cortantes horizontales transmitidos por la celosía. Esto permite mantener protegido el apoyo esférico, al quedar embebido.

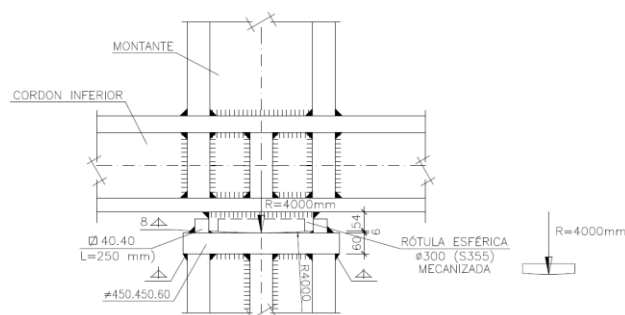


Figura 11. Apoyo oscilante esférico (R=4000 mm) sobre soporte mixto

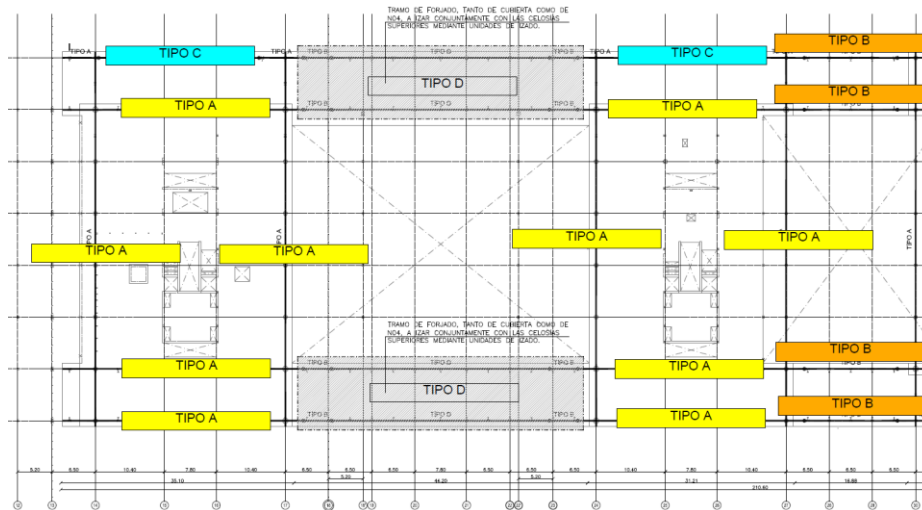


### 3.4. Proceso constructivo

#### 3.4.1. Procedimiento general de montaje

Dada la envergadura de la cubierta, cualquier condición que la estructura debiera cumplir de cara a su ejecución, debe de estar definida a nivel de proyecto con objeto de incluirla en la planificación y previsión de la obra.

Los criterios que se establecieron en proyecto de cara al montaje fueron los siguientes:



**Figura 12. Tipos de celosías para el montaje. Bloques A y B**

- Las celosías del tipo A son prácticamente todas las transversales (paralelas al eje norte-sur). La tipología D es específica de los grandes puentes entre los bloques A y B, que por su tamaño y posición permitieron el montaje del puente completo a nivel de planta de acceso, incluida la vigería secundaria y chapa colaborante de los forjados y los tirantes y planta cuarta inferior.
- Todas las uniones en obra se prevén atornilladas pretensadas, sin deslizamiento en ELS.
- Las celosías del tipo A apoyan sobre soportes. Con objeto de independizar los trabajos de colocación de la estructura metálica de celosías, de los trabajos de armado y hormigonado de soportes y losa de cubierta, se define en proyecto la colocación de perfiles metálicos embebidos dentro de los soportes que han de recibir el apoyo. Con esto se consigue corregir, si es necesario, posibles tolerancias arrastradas en la ejecución de la estructura de hormigón, al disponer los perfiles metálicos en la posición correcta.

#### 3.4.2. Montaje e izado de puentes (montaje tipo D)

En el caso de los “puentes” el proceso de montaje se define en los siguientes términos generales:

- Colocadas las celosías tipo A que apoyan sobre los bloques, se procede al izado y montaje, mediante uniones atornilladas de los tramos que se encuentran en la vertical de los entramados de las escaleras de evacuación y que por tanto no pueden ser izados. Sobre estos tramos, dispuestos en voladizo se dispondrán las unidades de izado.
- Se montan, sobre bastidores provisionales, las dos celosías de cada puente, la vigería inferior del forjado y su chapa colaborante. También se colocan los tirantes de cuelgue de la planta N04, su vigería secundaria y la chapa colaborante. El peso total de cada “puente” es aproximadamente 250 t.
- El conjunto, así montado, se eleva hasta su posición por medio de izado con cuatro unidades de tiro. Se realizan las uniones.



**Figura 15. Montaje de celosías tipo A e izado de puente sur**

### **Participantes**

Propiedad: Banco Popular

Diseño arquitectónico y Dirección de Obra: Arquitectos Ayala (Gerardo Ayala, Mateo Ayala y Marcos Ayala)

Diseño de Estructuras y Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo Tyspa)

Management Contracting: Bovis

Construcción: Dragados (Edificios), Horta Coslada (Estructura Metálica), Ale (Izado de celosías).

### **Referencias**

- [1] CTE DB SE, Código Técnico de la Edificación. Documento básico: Seguridad estructural, Ministerio de la Vivienda, Madrid 2006.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [3] Comisión Permanente Estructuras de Acero, Instrucción de Acero Estructural EAE, Ministerio de Fomento, Madrid, 2011.
- [4] J.Martínez Calzón, A. Serrano Corral, A. Vidal Vacas, Edificio de la Nueva Sede del Banco Popular en Madrid. Comunicación. V Congreso ACHE. Barcelona 2011.
- [5] J.Martínez Calzón, J.Ortiz Herrera, Construcción Mixta Hormigón-Acero. Ed. Rueda. Madrid 1978.
- [6] Comité europeo de normalización (CEN). UNE EN-1337-6 Apoyos estructurales. Parte 6- Apoyos oscilantes
- [7] Comité europeo de normalización (CEN). EN-1991-1-5 Acciones en estructuras. Parte 1-5: Acciones generales. Acciones térmicas.