

# Pabellón-Puente EXPOZARAGOZA 2008.

## Aspectos generales y construcción de la estructura

The Puente Expo Zaragoza 2008 Pavilion.

General aspects and construction of the structure

**Javier Andueza Olmedo.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jao@fhedor.es

**Javier Antón Díaz.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jad@fhedor.es

**Hugo Corres Peiretti.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hcp@fhedor.es

**José Romo Martín.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jrm@fhedor.es

FHECOR Ingenieros Consultores.

**Ángel Ortega Arias.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. aortegaa@dragados.com

**Luis Peset González.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. lpesetg@dragados.com

**Susana López Manzano.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. slopezm@dragados.com

DRAGADOS S.A.

**Resumen:** Tras el estudio de la concepción estructural y del proyecto, se describe la fabricación y el montaje de las distintas partes que forman la estructura metálica del Pabellón-Puente de la EXPOZARAGOZA, así como su lanzamiento y su colocación en su cota final.

**Palabras Clave:** EXPOZARAGOZA 2008; Estructuras metálicas; Puentes lanzados

**Abstract:** The article considers the structural concept and design of the Puente Expo Zaragoza 2008 Pavilion, before going on to describe the manufacture and assembly of the different components of the steel structure together with its launching and final positioning.

**Keywords:** EXPOZARAGOZA 2008; Steel structures; Launched bridges

### Introducción

El Pabellón Puente es la puerta meridional de acceso a la Exposición Internacional de Zaragoza y por él transitarán 10.000 personas a la hora. Es la conexión principal y directa entre la estación de Delicias, nudo de transporte de ferrocarril y de autobuses, con el meandro de Ranillas, donde se celebrará la exposición dedicada al agua. No es sólo una de las entradas sino que albergará en su interior una exposición permanente llamada "Agua recurso único". Por ello une en sí mismo dos conceptos; es un pabellón y además un puente. Ambas funciones confieren a este proyecto características muy especiales, un edificio sobre el río y una pasarela viva.

El Pabellón-Puente fue objeto de un concurso internacional de arquitectura en el que el proyecto

ganador resultó ser el propuesto por Zaha Hadid. El proyecto estructural fue realizado por Arup.

Con posterioridad, ExpoZaragoza 2008 convocó un concurso para la construcción de la estructura en el que explícitamente se planteaba la posibilidad de presentar una variante tanto de la estructura como al proceso constructivo propuesto en el proyecto de Zaha Hadid - Arup. Se exigía explícitamente, que se debían respetar las formas y dimensiones desarrolladas en el proyecto de arquitectura.

Este concurso fue ganado en julio de 2006 por la UTE formada por DRAGADOS y URSSA con un proyecto de licitación variante redactado por FHECOR Ingenieros Consultores. En ese momento comenzó el proyecto de la estructura y dos meses después se inició la construcción de la estructura metálica. Este proceso requirió un gran trabajo de ingeniería de ta-



Fig. 1. Vista panorámica del Pabellón-Puente construido e imagen virtual del proyecto de arquitectura.

ller, que fue realizado por URSSA a partir del proyecto de FHECOR Ingenieros Consultores.

La variante ganadora del concurso consistía en la modificación del tablero, que pasó de ser una celosía tubular cubierta de gunita a una sección cajón metálica, y en la sustentación del puente en la pila central que pasó a realizarse mediante dos aparatos de apoyo de cazoleta, en lugar de la sustentación múltiple del proyecto inicial.

La variante también incluía un proceso constructivo diferente, en el que el vano de mayor longitud de la estructura se construía en la orilla sur para, posteriormente, ser llevado a su sitio definitivo mediante un complicado proceso de lanzamiento y pesca que veía agravada su dificultad por la geometría de la estructura. La ejecución de esta maniobra fue realizada por ALE-LASTRA a partir del proyecto de ingeniería desarrollado por FHECOR y los Servicios Técnicos de DRAGADOS.

El proyecto y la construcción se realizaron 18 meses y ha supuesto un reto importante en muchos aspectos técnicos y de procesos y el resultado, tal como se muestra en la figura 1, es una réplica mimética de las ideas iniciales imaginadas por el quipo de Zaha Hadid.

### Concepción estructural y proyecto

El Pabellón-Puente es un edificio tendido sobre el río Ebro que sirve como puerta de entrada al recinto de la Expo 2008 a la vez que alberga en su in-

terior espacios expositivos dispuestos en varios niveles. Es un proyecto en el que la estructura es protagonista esencial por su complejidad y porque está fuertemente integrada en el concepto arquitectónico.

Se trata de una estructura de 250 m de longitud, planteada con dos vanos de 100 y 150 m de luz respectivamente, con geometría curva en planta y sección transversal variable en anchura, altura y geometría. El tránsito peatonal por el interior de la misma está organizado en cuatro niveles; dos inferiores situados a las cotas 203.60 y 205.10 y dos superiores situados a las cotas 208.30 y 209.60. Todos ellos están comunicados a través de cuatro rampas interiores.

El volumen del Pabellón-Puente está articulado en cuatro cuerpos o *pods*; dos centrales uno a continuación del otro que constituyen la zona de paso (*pods* 2 y 4) y dos laterales que contienen los espacios expositivos (*pods* 1 y 3).

Con esta geometría, la estructura está concebida como una viga de dos vanos de sección transversal variable, con un cordón superior continuo en los *pods* 2 y 4 y discontinuo en los *pods* 1 y 3; un cordón inferior formado por un cajón cerrado y situado por debajo de la cota 203.60, y una celosía de unión entre ambos cordones, designada como *diagrid*, que en ciertas zonas está interrumpida por la presencia de ventanas. En los extremos del puente y en la zona del apoyo central, el cordón superior y el inferior también están vinculados por otros elementos inclinados de geometría compleja, que se denominaron patas.

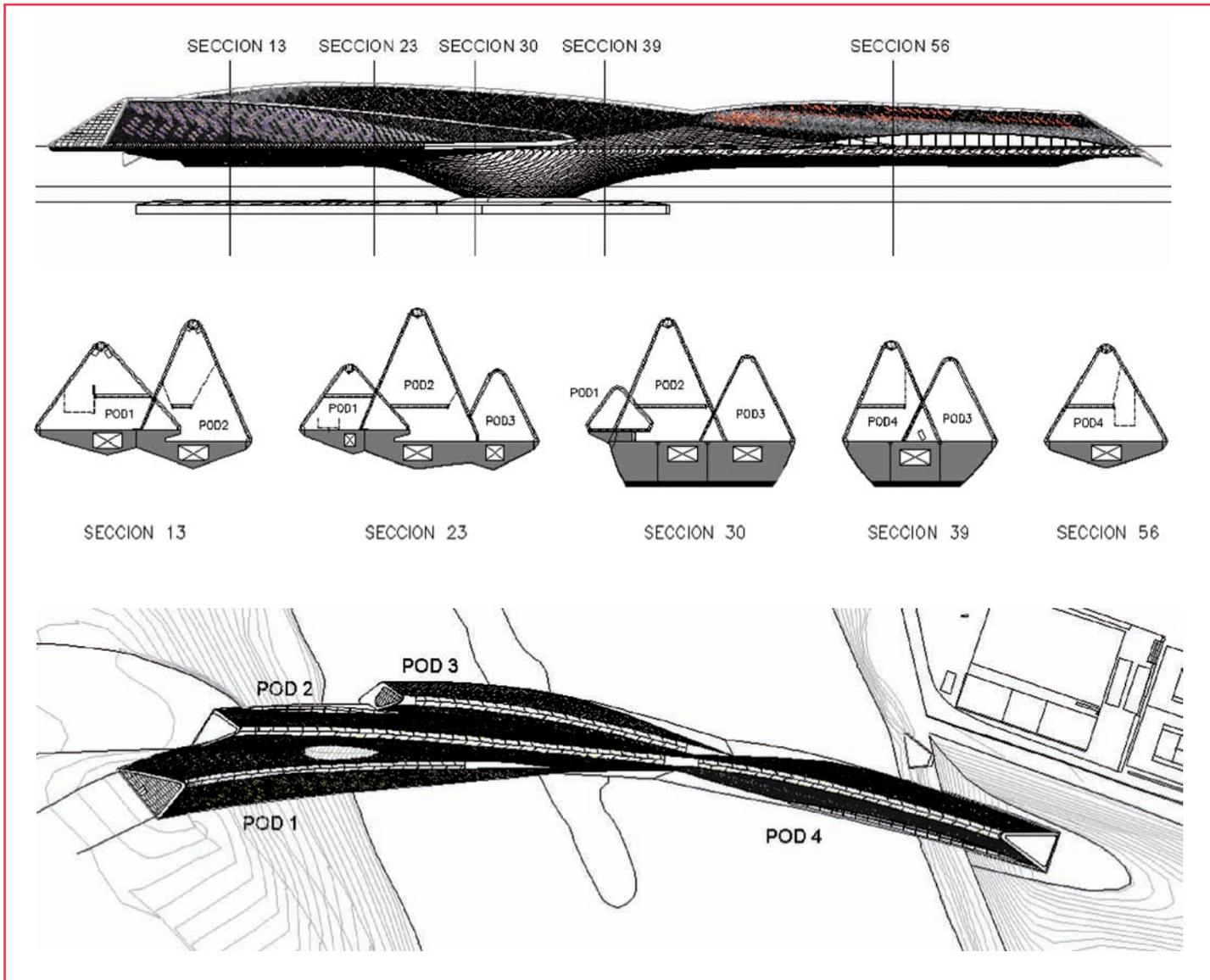


Fig.2. Planta, alzado y secciones transversales tipo.

En sentido longitudinal, la estructura del puente está modulada en secciones transversales verticales separadas 3.60 m; con diafragmas en el interior del cajón de los que salen elementos denominados costillas que también conectan el cordón superior con el cajón. Entre éstas se disponen los paneles que constituyen la celosía de unión/*diagrid*.

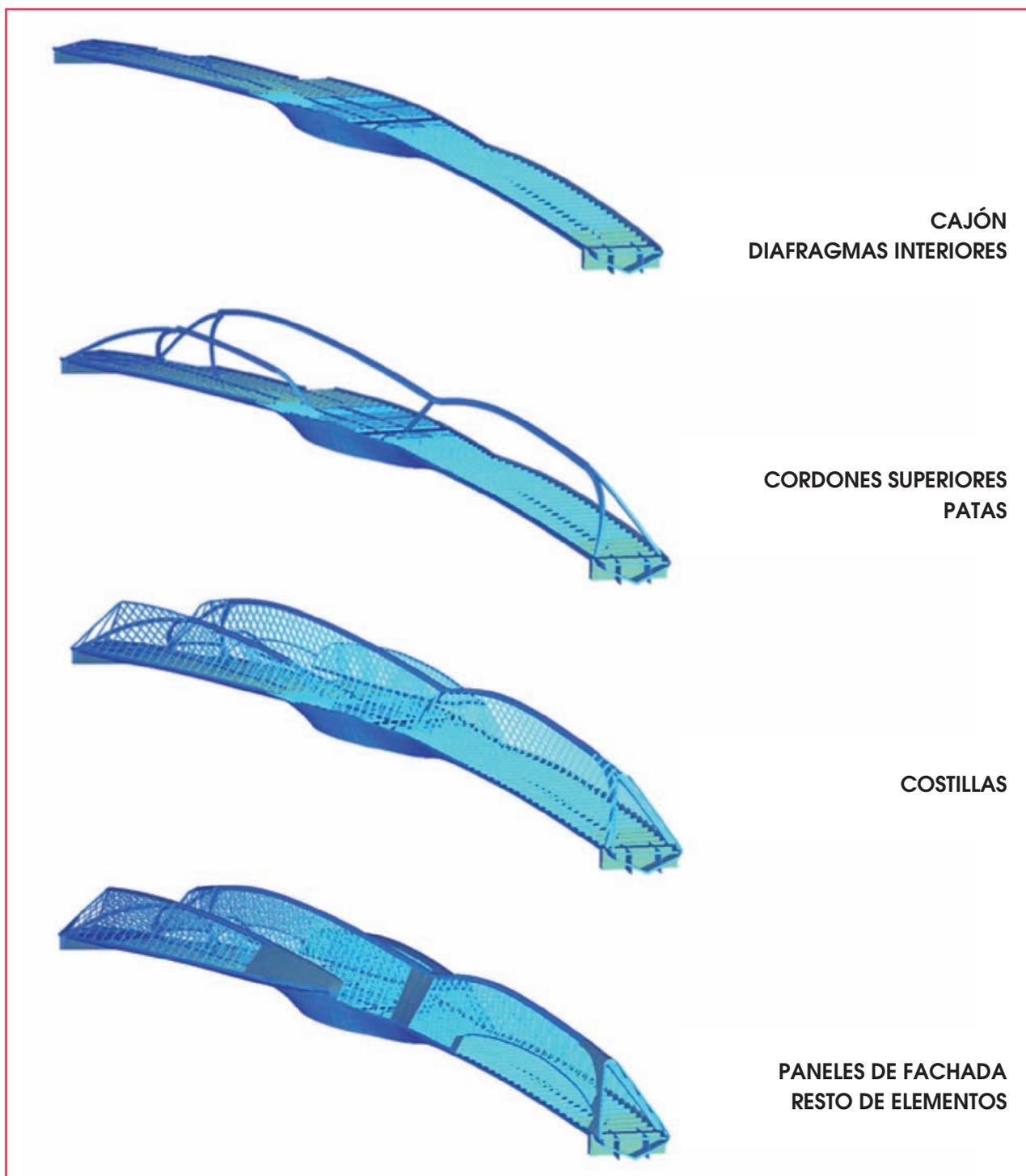
La geometría es extraordinariamente variable, compleja. El cajón inferior está resuelto con chapas casi siempre planas entre secciones transversales, aunque en ocasiones son alabeadas debido a los fuertes cambios de geometría. Los cordones superiores tienen distinta geometría dependiendo del *pod* al que pertenezcan. Los paneles *diagrid* son en su

mayoría planos, pero debido a la geometría variable del puente, los dos paneles consecutivos que acometen a una costilla presentan ángulos distintos en ésta. Las patas tienen geometría curva en el espacio. Las uniones entre los distintos elementos son todas distintas y muy complicadas, haciendo imposible en la mayoría de los casos la definición de uniones tipo.

Por estos motivos, durante todo el desarrollo del proyecto fue necesario un trabajo iterativo entre los cálculos estructurales y la ejecución de modelos y diseños de detalles para la producción en taller.

En primer lugar se planteó el concepto de la estructura y de su comportamiento a nivel global, pa-

Fig. 3. Modelo de cálculo. Distintos elementos que forman la estructura.



ra proceder posteriormente al estudio pormenorizado de cada detalle. Con los resultados obtenidos se definía una geometría que era utilizada como base para la realización de un modelo 3D que servía para identificar los problemas particulares de cada elemento o unión. Éstos podían ser de di-

versos tipos: estructurales, geométricos o de montaje.

- Estructurales, porque la adaptación de un determinado detalle a una determinada geometría podía ser inválida desde el punto de vista estructural.

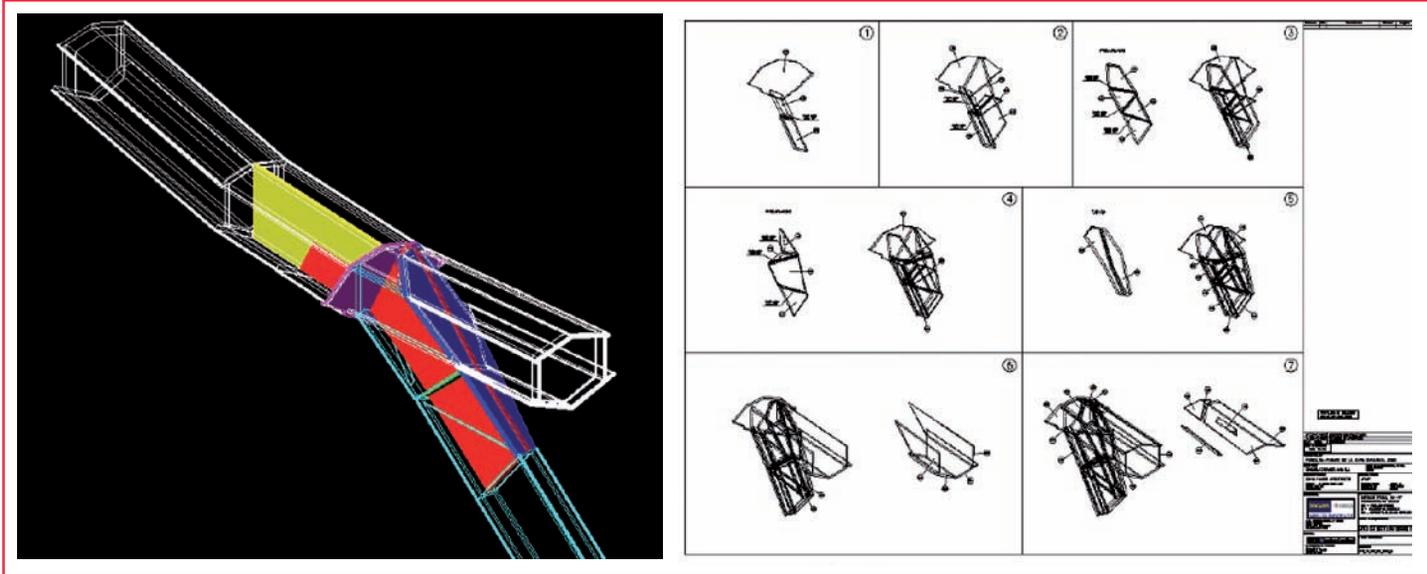


Fig. 4. Ejemplo de estudio en 3D de unión entre patas y cordón superior.

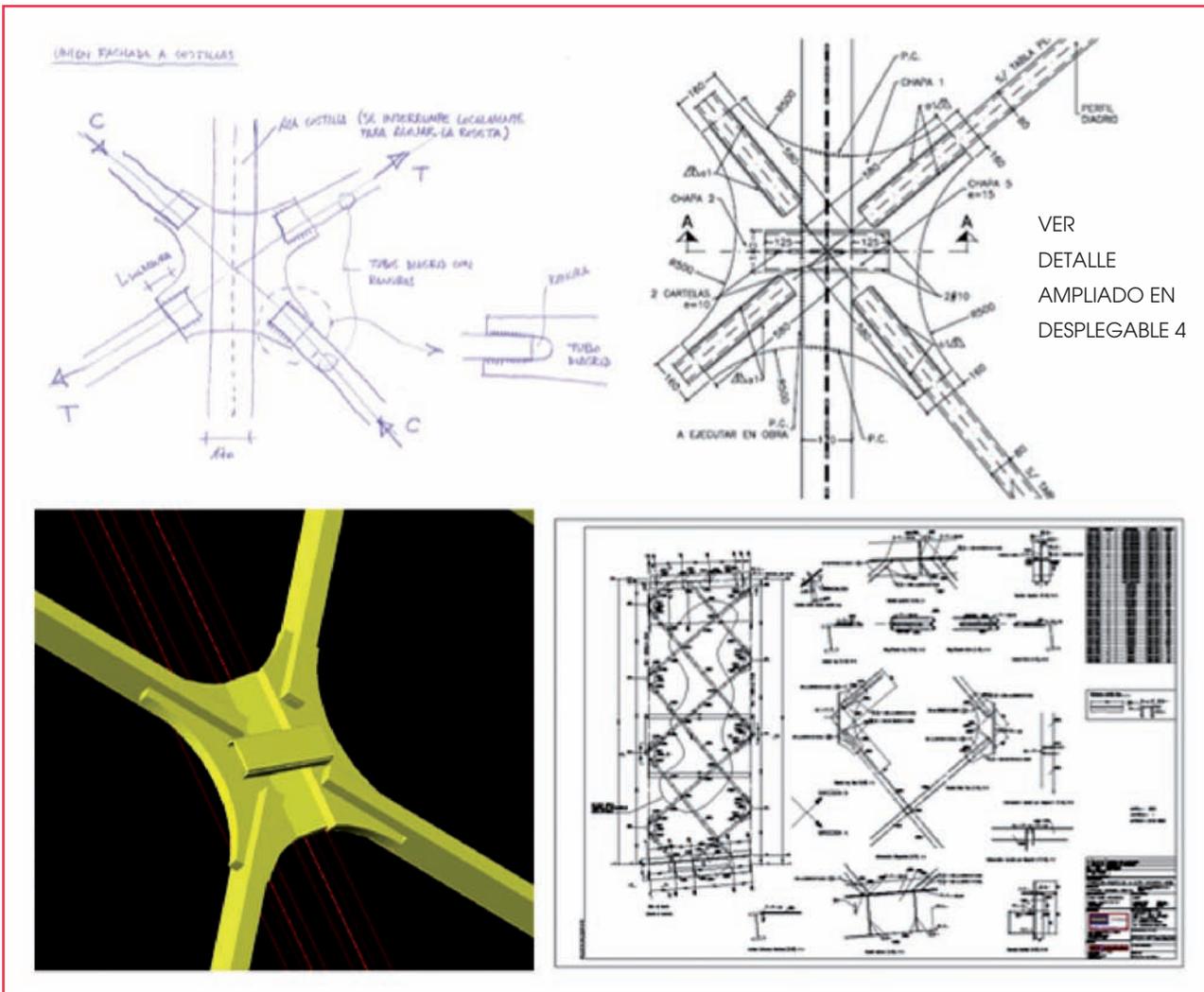


Fig. 5. Proceso de diseño para los nudos de unión de los paneles diagrid con las costillas: concepción, definición geométrica en 2D, representación en 3D y plano de taller.

Fig. 6. Vista general del montaje de las partes: norte sobre península provisional, y sur fuera del emplazamiento definitivo para su posterior empuje.



Fig. 7. Secuencia de montaje de la parte sur.

- Geométricos, porque en ocasiones los detalles diseñados interferían con revestimientos interiores o alteraban la apariencia del edificio.
- De montaje, porque el diseño en 3D de los detalles permitía anticipar la existencia de futuros problemas en el montaje y así corregirlos.

Una vez resueltos los puntos problemáticos, se realizaban las correcciones oportunas del modelo 3D inicial para reflejar exactamente el detalle o elemento planteado y éste se utilizaba como modelo para la generación de los planos de taller.

### Fabricación y montaje de la estructura metálica

Desde el principio se planteó la construcción de la estructura dividida en dos partes. La norte, de geometría más compleja, se construyó cimbrada sobre una península provisional ganada al río. La sur, más sencilla geométricamente, se construyó fuera de su emplazamiento definitivo para, posteriormente, empujarla sobre el cauce del río Ebro hasta colocarla en su posición definitiva.

La gran mayoría de las piezas que forman la estructura se fabricaron en los talleres que URSSA tiene en Vitoria, aunque en algunos momentos, debido a lo ajustado de los plazos de ejecución, se incorporaron otros talleres de distintos puntos de España.

Unos de los problemas que más preocupó desde el principio y al que se dedicó mucho tiempo y esfuerzo de ingeniería, fue el de diseñar uniones entre elementos que permitieran holguras suficientes para reducir al mínimo el tiempo de montaje. Dado el gran número de elementos distintos existentes en la estructura (cajón, diafragmas, costillas, paneles diagrid, cordones superiores y patas, etc.) y que todos interactúan, era fundamental diseñar uniones que permitieran la máxima construcción posible en taller, donde las condiciones son más favorables, y que facilitara en lo posible el montaje en la obra. El plazo de ejecución de la obra dependía en gran medida de esta cuestión.

Así, el montaje en obra de la estructura metálica comenzó en enero de 2007 y finalizó tan sólo 15 meses después, incluyendo el lanzamiento de la parte sur. Inicialmente se montó el cajón con sus diafragmas interiores, luego el cordón superior con torretas de reparto que se apoyaban en el cajón previamente

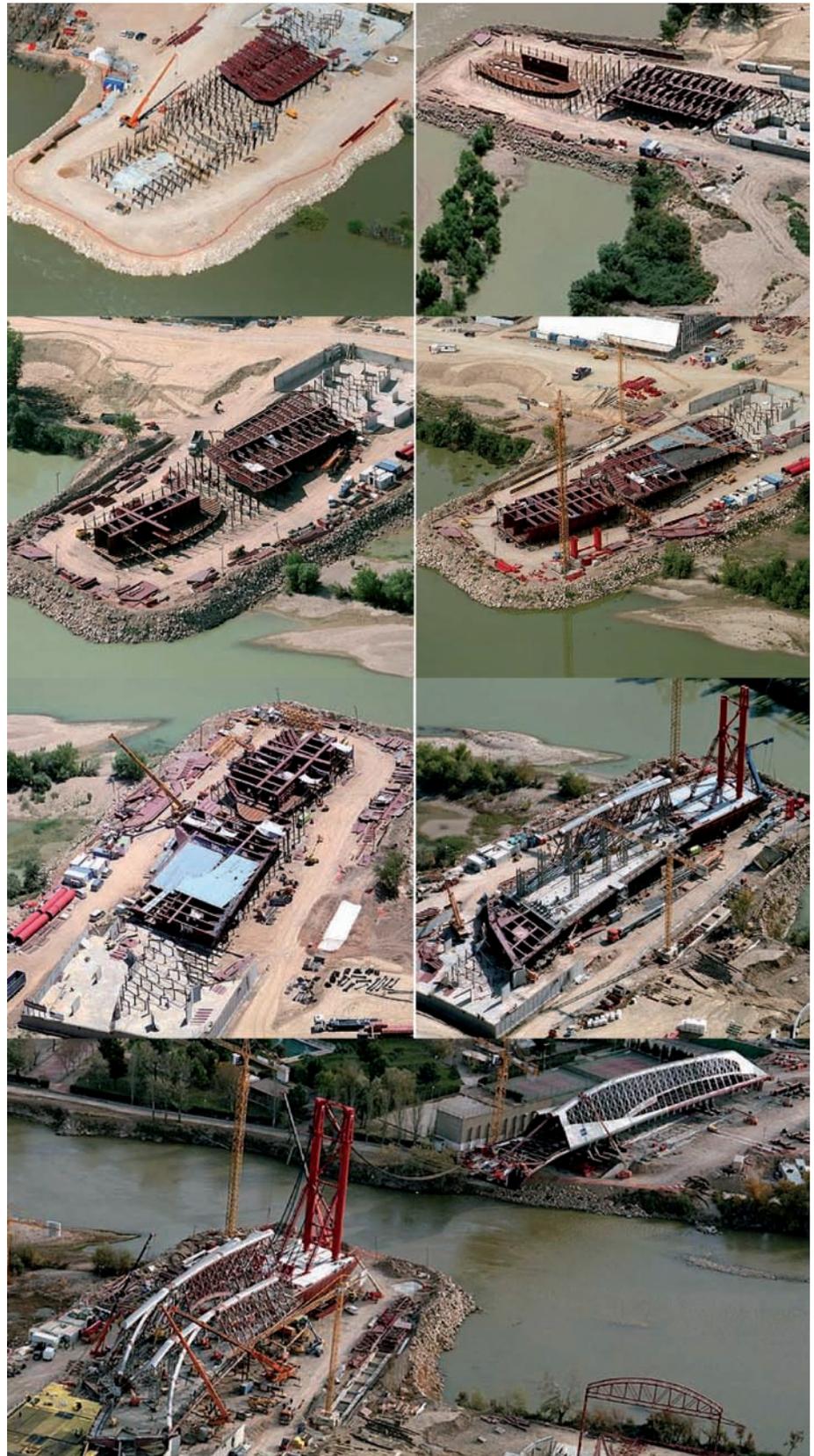
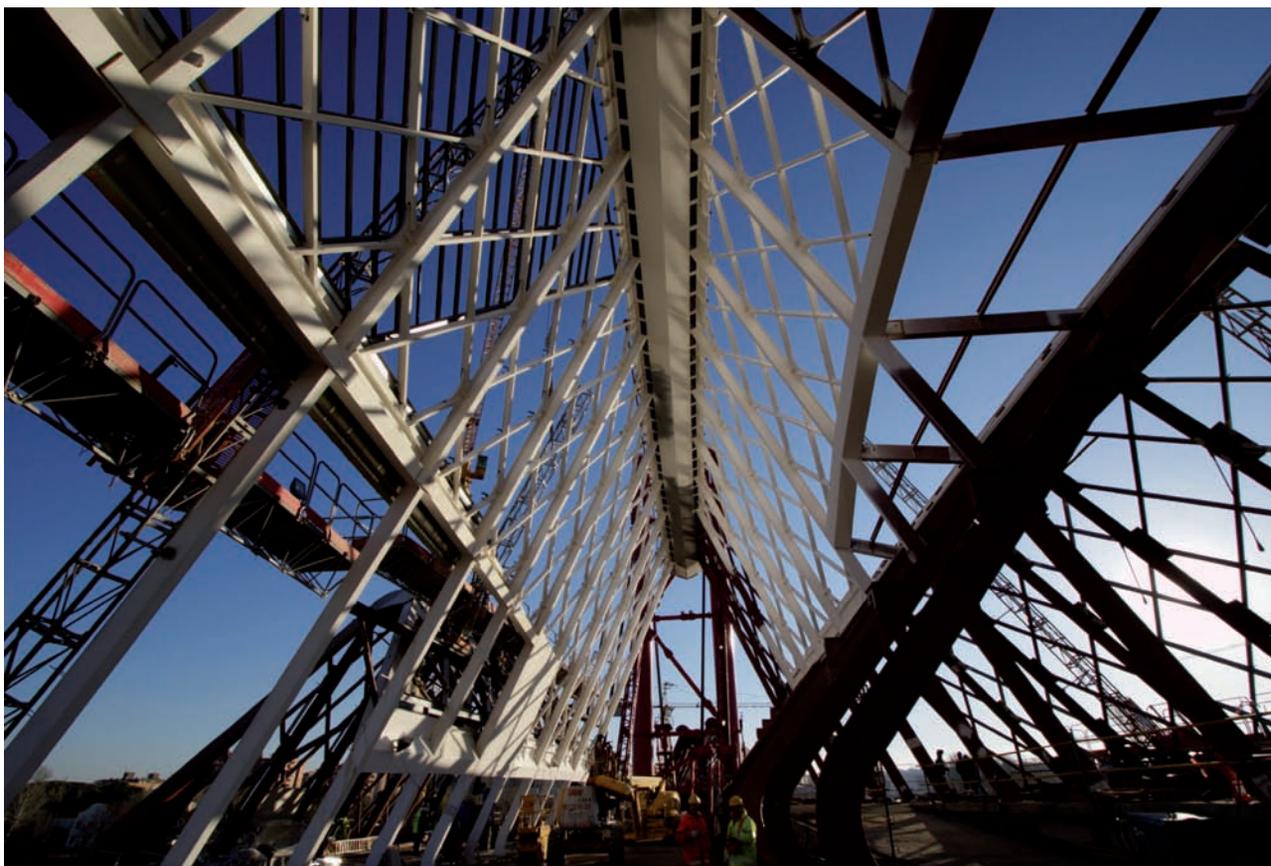


Fig. 8. Secuencia de montaje de la estructura metálica de la parte norte.

Fig. 9. Vista del interior del pod2 durante la construcción.



construido y, finalmente, las costillas y los paneles *diagrid* intermedios.

### **Maniobra de lanzamiento de la parte sur**

Una vez que la parte sur de la estructura, de 140 metros de largo y 2100 toneladas de peso, estuvo construida en la margen derecha del río Ebro, fue necesario desplazarla 123 metros hasta situarla en su posición definitiva. Esta fue seguramente la parte más delicada, compleja y espectacular de la construcción de este puente. Fue un proceso sin precedentes, ya que el tramo de puente lanzado era curvo en planta, de canto y anchura variables y totalmente asimétrico. Estos hechos fueron determinantes en el diseño de toda la maniobra e influyeron en gran medida en el diseño y dimensiones de los elementos auxiliares utilizados.

El proyecto del lanzamiento, desarrollado por FHECOR y la Dirección técnica de Dragados, empezaba determinando la posición del centro de gravedad de la estructura. Ésta es una cuestión casi trivial en el lanzamiento de otros puentes, pero en éste adquiría una

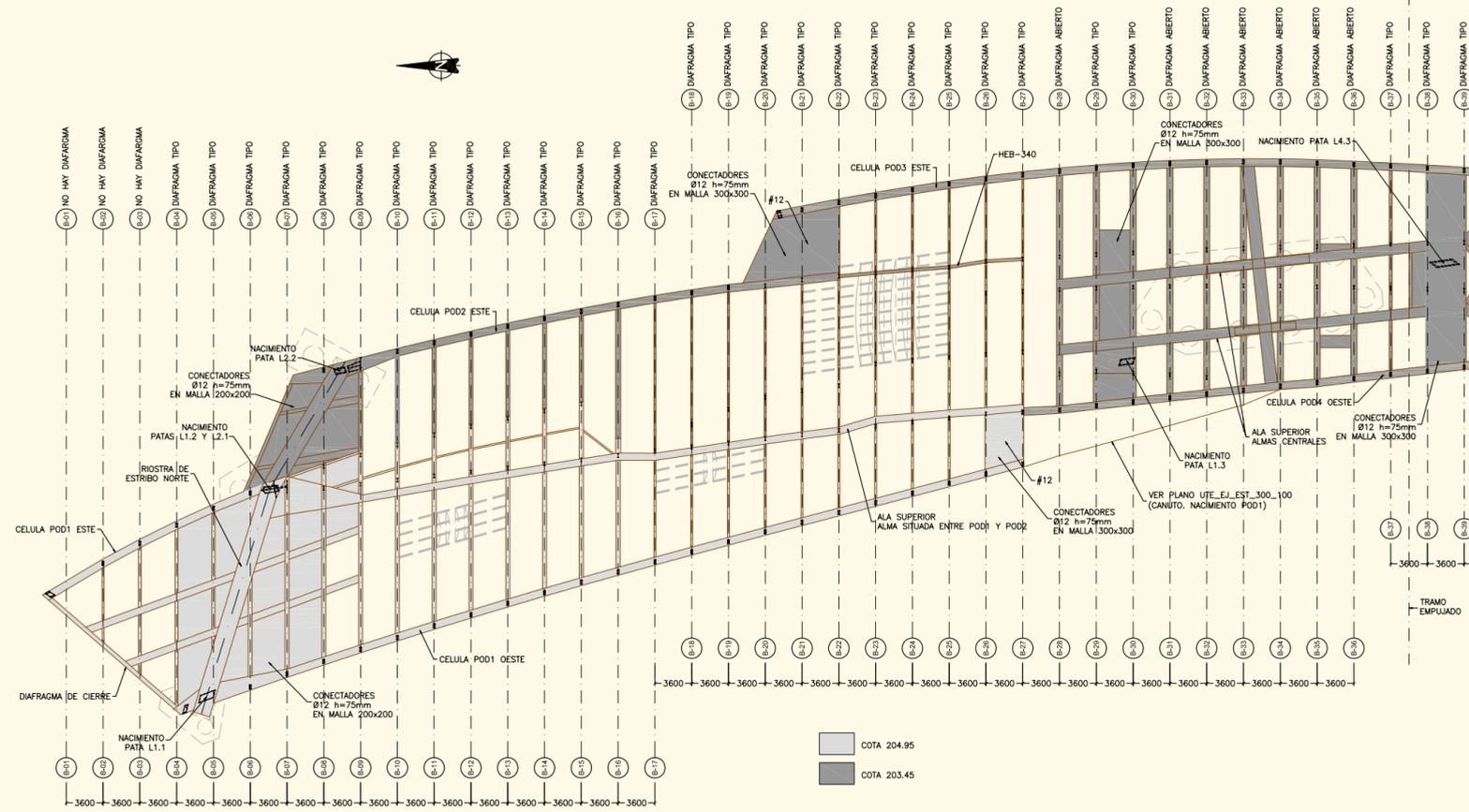
enorme importancia, dado que los esfuerzos a los que se someterían, tanto la estructura como los elementos auxiliares durante el lanzamiento, dependían en gran medida de la bondad de la estimación teórica de su posición.

El proceso se estructuró en tres fases, diferenciadas por las características del movimiento.

#### **Primera fase. Deslizamiento sobre patines. Configuración isostática**

En esta primera fase del lanzamiento, la estructura se encuentra apoyada en dos conjuntos de patines. El patín delantero, situado a 50 metros del extremo delantero, presenta una capacidad de 4000 toneladas, y sujeta la estructura mediante cuatro elementos verticales de 2.50 m, denominados *patitas*. El patín trasero, situado a 54,00 m del patín delantero y a 34,00 m del extremo trasero del puente, tiene una capacidad de 2000 toneladas y sujeta la estructura, también, mediante 4 *patitas* más.

La configuración es isostática, por lo que los esfuerzos a los que está sometida la estructura dependen de



PLANTA SUPERIOR CAJÓN  
ESCALA 1:250  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

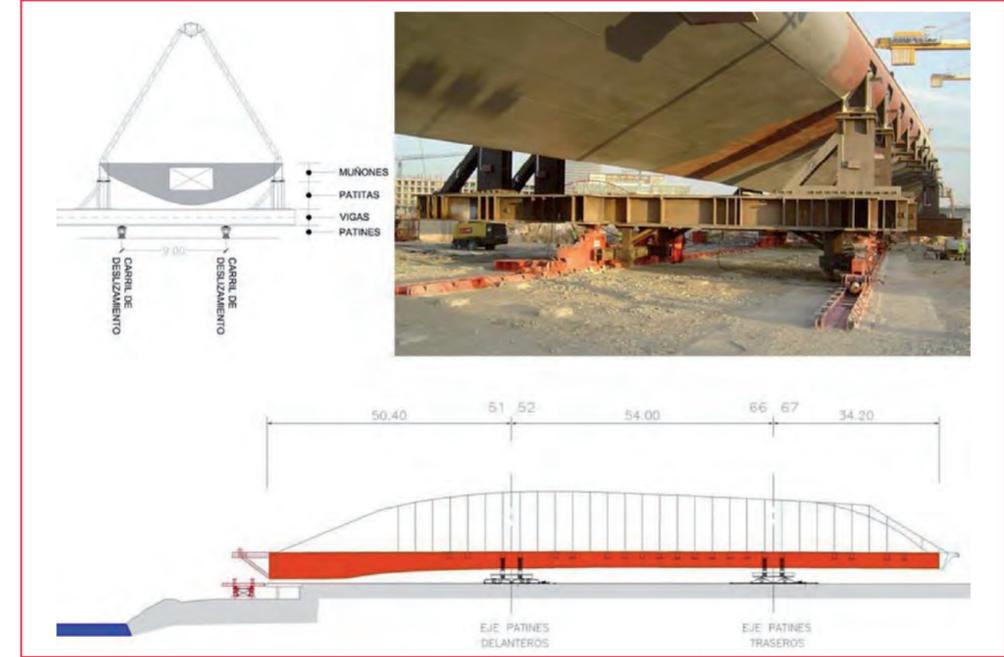
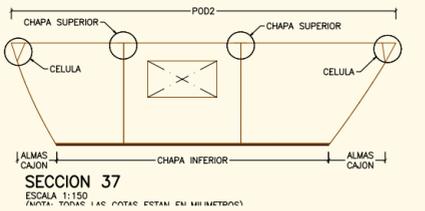
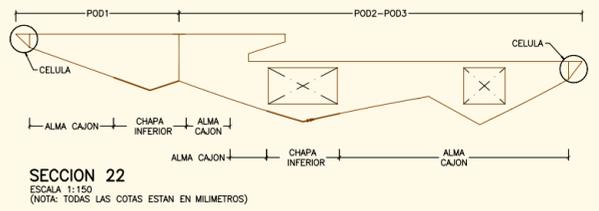
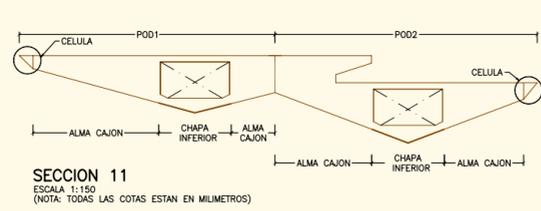
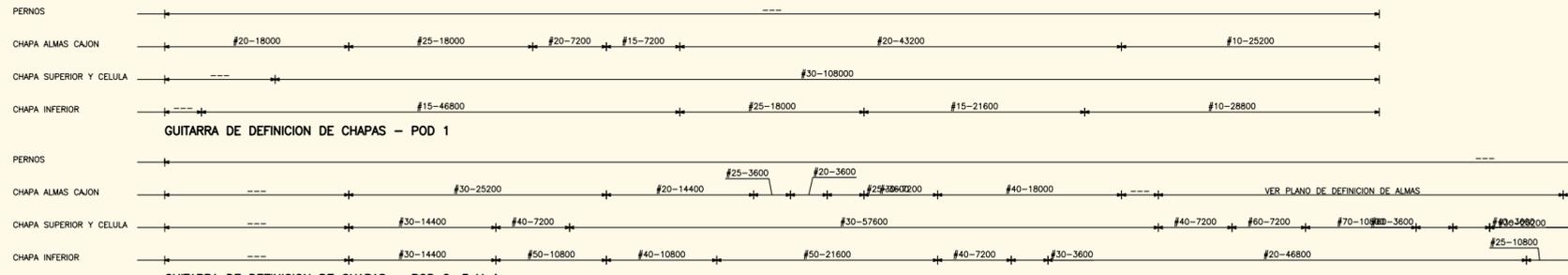


Fig. 10. Apoyo del puente durante el empuje.

la posición del centro de gravedad. Las patitas se situ- an siempre en los bordes laterales de la estructura. Para que éstas se adapten a la forma del puente fue necesario instalar unos elementos de transición, entre el puente y las patitas, que en términos de proyecto se llamaron *muñones*. El apoyo entre *patitas* y *muñones* se realizó mediante neoprenos. Las *patitas* presentaban puntales inclinados para resistir las posibles fuerzas horizontales provenientes del viento.

Los patines se deslizan por dos carriles que disponían de una cama de teflones. Los patines, en esta fase, son autopropulsados y el movimiento se realiza mediante unos gatos horizontales que, sujetándose al carril consiguen el apoyo suficiente para empujar el puente.

Esta primera fase constaba de tres movimientos. Un primer avance longitudinal de 27.00 m, un movimiento de ripado transversal de 9.00 m y un segundo avance longitudinal de 17.00 m. La necesidad de ejecutar un movimiento de ripado transversal se debió a que la parte lanzada no pudo construirse en su alineación definitiva, ya que ello requería invadir parcialmente unos terrenos no autorizados. Por ese motivo,

se decidió construir la estructura desplazada 9.00 m hacia el oeste. Esto obligó a que una vez terminado el primer desplazamiento longitudinal, hubiera que realizar un desplazamiento transversal que permitiera ceñirse a la alineación definitiva. Para realizar este desliza- miento transversal fue necesario liberar los patines de carga, transfiriendo ésta a otros gatos situados de forma excéntrica, y girarlos 90°, orientándolos en senti- do perpendicular. Obviamente esta maniobra tuvo que realizarse dos veces.

**Segunda fase. Deslizamiento sobre patines con sistema de tiro y retenida. Configuración hiperestática**

La primera fase del lanzamiento concluye en el momento en que los patines delanteros alcanzan el punto más próximo al río de los carriles de desliza- miento; cuando el puente se encuentra todavía a 79.00 m de su posición final.

En esa fase, debido a la posición posible de los patines, el centro de gravedad del puente queda por delante de los apoyos de los patines por lo que es ne-

C 10/09/07 REVISION GENERAL	
B 10/01/07 REVISION GENERAL	
A 122/12/06 EDICION PARA SUPERVISION	
REVI	FECHA MODIFICACION
PROYECTO/PROGECT	
PABELLÓN-PUENTE DE LA EXPO ZARAGOZA 2008	
CLIENTE/CLIENT	INICIO DE LA INDEPENDENCIA 34 años
EXPOZARAGOZA 2008 S.A.	50004 ZARAGOZA ESPAÑA
ARQUITECTO/ARCHITECT	INGENIERO/ENGINEER
ZAHA HADID ARCHITECTS	ARUP
STUDIO 9 10 BOWLING GREEN LANE LONDON EC4A 3DF UNITED KINGDOM	13 FLEURY STREET ALCALA 54 28014 MADRID ESPAÑA
CONSTRUCTORA	TÍTULO DEL PLANO/SHOWN TITLE
DRAGADOS URSSA	PLANTA SUPERIOR CAJÓN (1)
PABELLÓN PUENTE U.T.E.	UTE - PABELLÓN-PUENTE
ALCALA ALONSO TORRES C/ FRANCIA 3000 ZARAGOZA TEL: 098 916 44338 FAX OBRA 916 443383	EJ - PROYECTO DE EJECUCIÓN
	300 - ESTRUCTURA METALICA
	SHOWN: HANDBOOK DE PLANO
	UTE   EJ   EST   300   01   C
INGENIERIA	Nº PLANO ARQUITECTURA
FHECOR Ingenieros Consultores	
C/ BARCELONA, 23 2ª PLANTA 50004 MADRID TEL: 91 5211440 FAX 91 5217644	ARCHIVO PDF
	UTE_EJ_EST_300_01_C

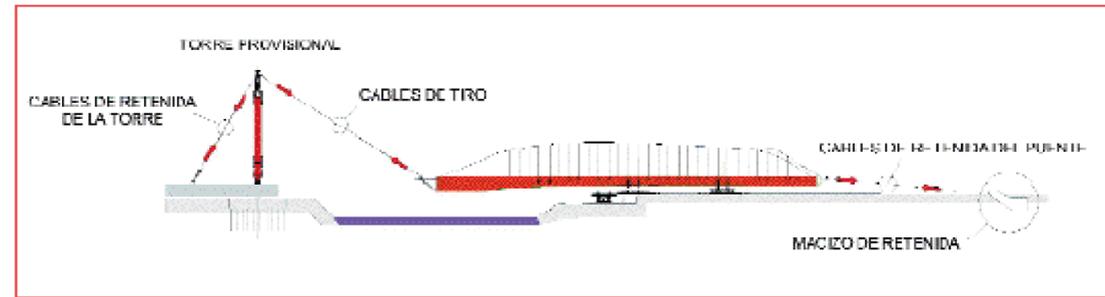


Fig. 11. Esquema del sistema de tiro y retenida.

es necesario utilizar un pescante, para sujetar el puente desde el extremo más avanzado, y un sistema de cables de retenida.

Tal como se muestra en la figura para poder sujetar y tirar el puente con el pescante delantero ha sido necesario instalar una torre de 40,00 m de altura, en la parte norte construida sobre la península provisional. La torre estaba conectada a los cables de tiro o pescante, desde donde se sujetaba el puente, y a una pareja de cables de retenida de la torre.

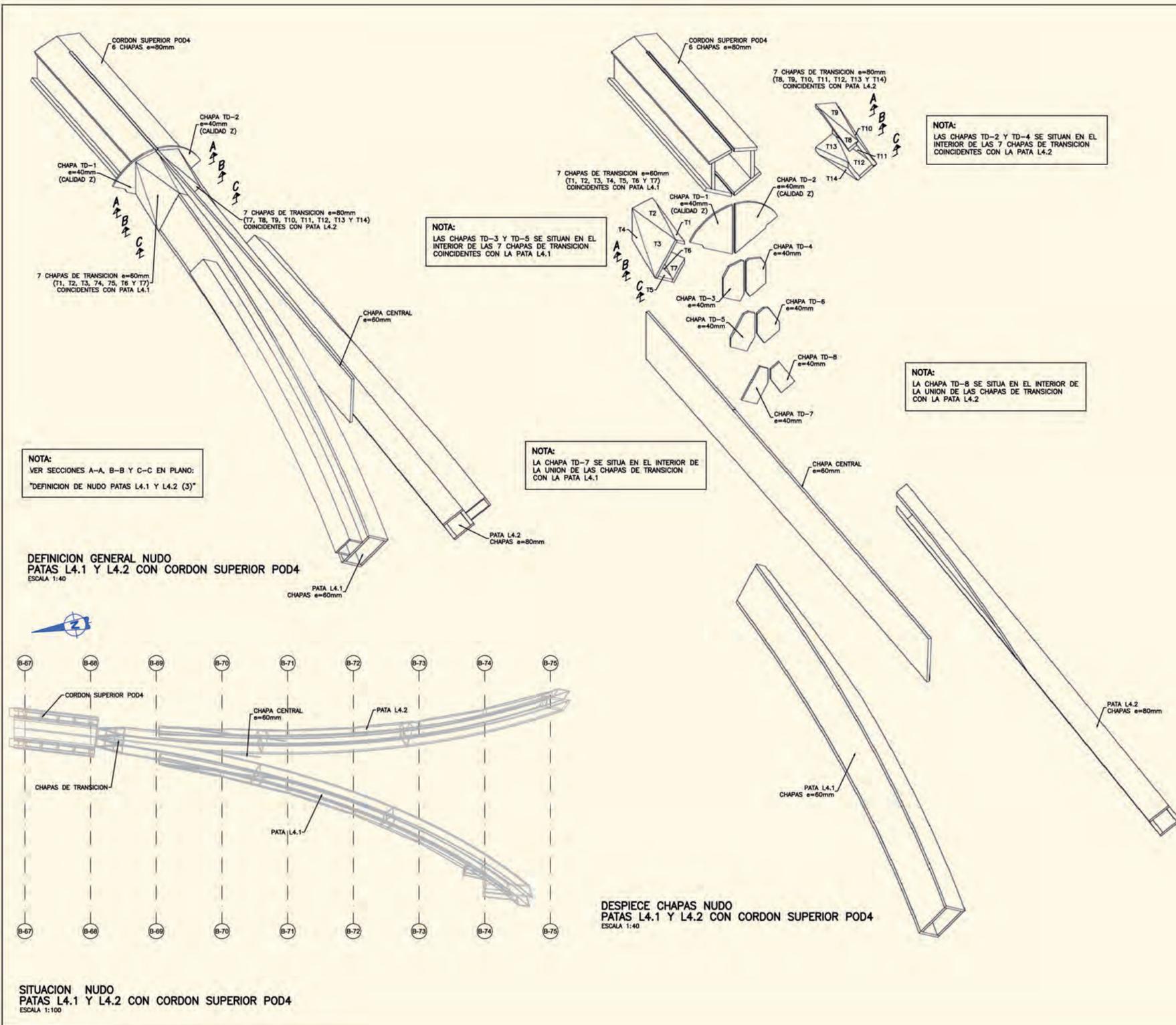
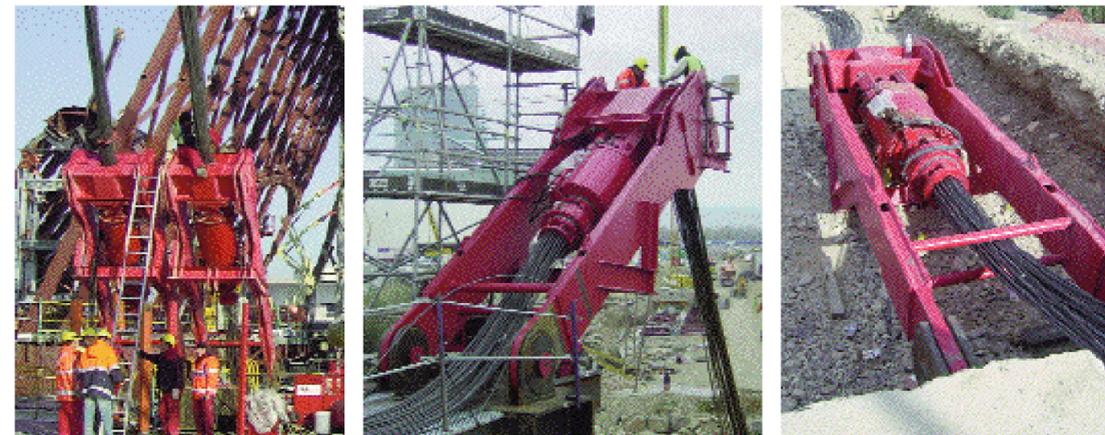
Asimismo para equilibrar el tiro del pescante ha sido necesario instalar un cable de retenida, situado en la parte trasera de la parte empujada, que está conectado a un muerto de anclaje, de 9000 kN, que ha sido construido y diseñado especialmente.

Todos los cables, retenida de la torre, tiro y retenida del puente, estaban dotados de unidades de tiro de distintas magnitudes, que se podían controlar durante el empuje. Los cables de retenida de las torres

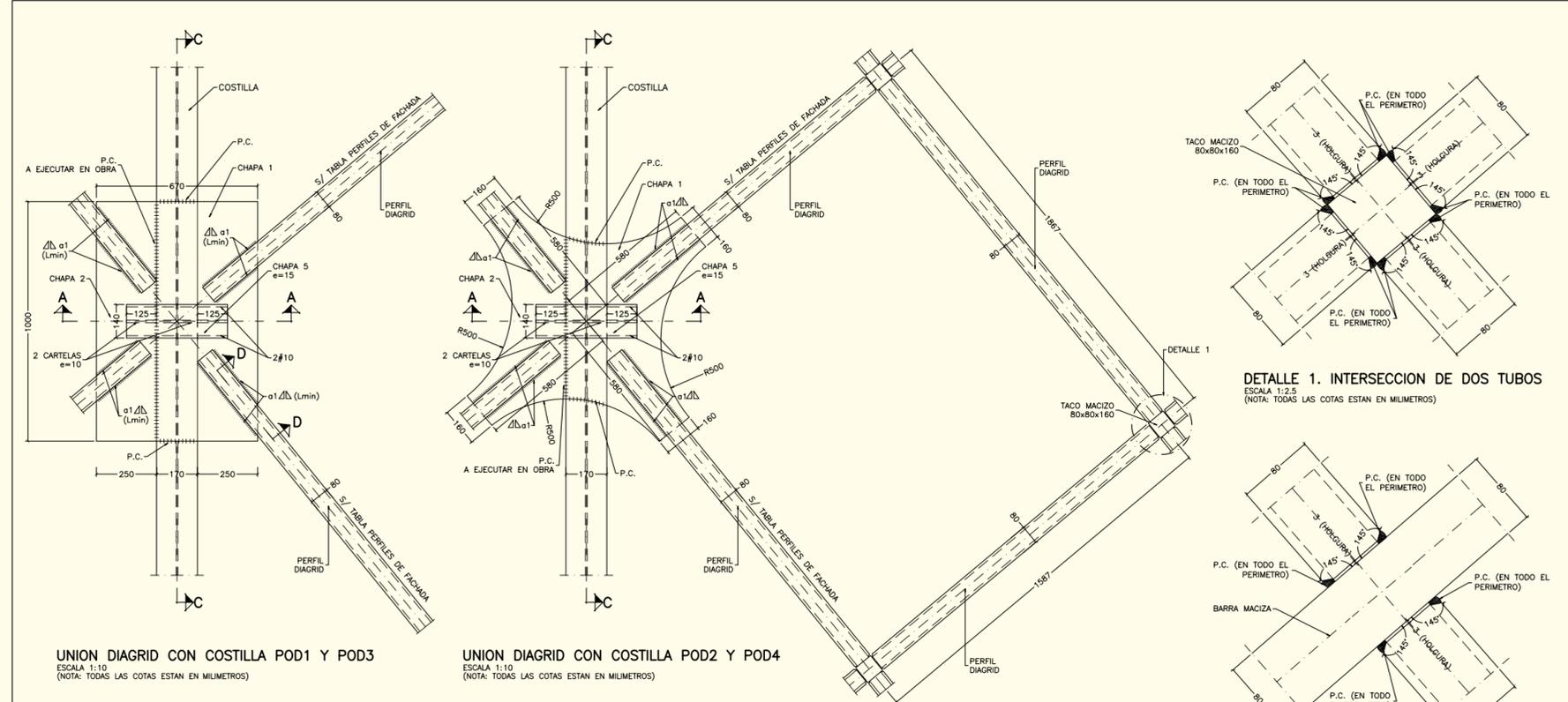
tenían cuatro unidades 5000 kN, instaladas en el anclaje de las mismas en el tablero de la parte norte. El cable de tiro estaba dotado de dos unidades de 8500 kN, instaladas en el extremo de la nariz de la parte empujada. Los cables de retenida traseros disponían de dos unidades de 5000 kN cada una, que estaban próximas al macizo de retenida.

Para garantizar el equilibrio durante el empuje era necesario que el eje del camino de rodadura coincidiera con el eje del sistema de tiro y retenida (cables de retenida de la torre - torre - cables de tiro - cables de retenida trasera - macizo de retenida) y que además éstos pasaran por el centro de gravedad de la parte de puente empujada. En la figura siguiente se muestra una fotografía, tomada desde la parte trasera del tramo empujado, en la que se ve que tanto el eje de tiro como todos los elementos del sistema están alineados en un mismo eje, y como el puente, debido a su geometría, pare-

Fig. 12. Unidades de control de los cables. a) Cables de retenida de la torre. b) cables de tiro. c) cables de retenida del puente.

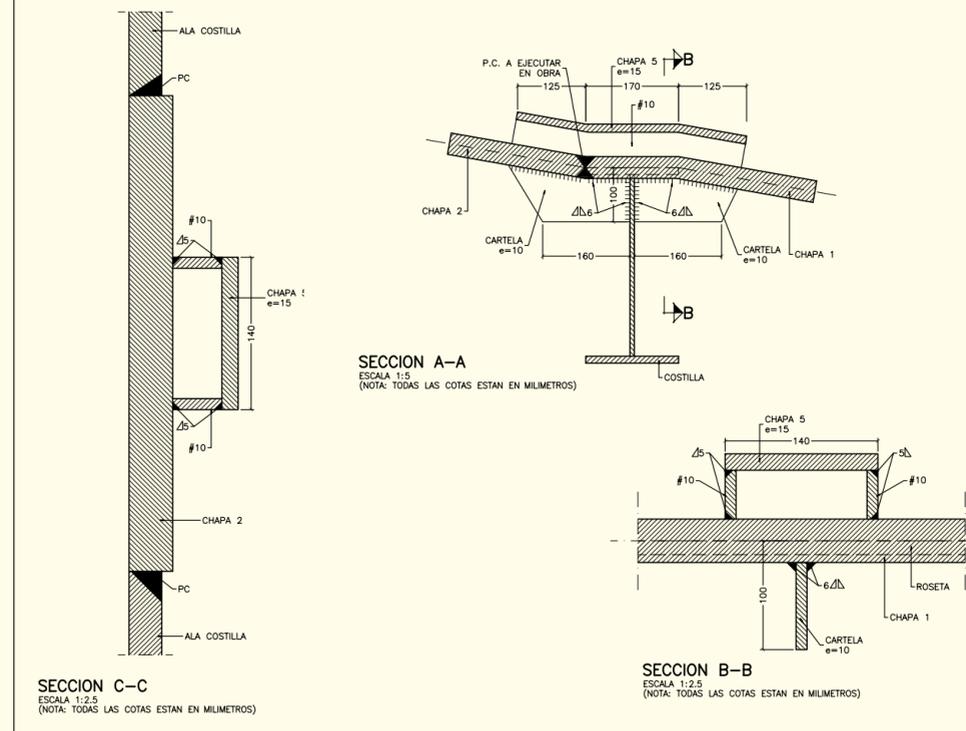


A 10/09/07 REVISION GENERAL	
REV	FECHA MODIFICACION
PROYECTANTE: PABELLÓN-PUENTE DE LA EXPO ZARAGOZA 2008	
PROYECTISTA: EXPOZARAGOZA 2008 S.A.	
INGENIERO/ARQUITECTO: ZAHA HADID ARCHITECTS	
INGENIERO/INGENIERO: ARUP	
CONTRACTORA: DRAGADOS URSSA	
PROYECTO DE EJECUCION: PABELLÓN PUENTE U.T.E.	
DEF. NUDO PATAS L4.1 Y L4.2 (1)	
UTE - EJ - EST 300 77 A	
INFORMACION: FHECOR Ingenieros Consultores	
PROYECTO: PABELLÓN PUENTE U.T.E.	



UNION DIAGRID CON COSTILLA POD1 Y POD3  
ESCALA 1:10  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

UNION DIAGRID CON COSTILLA POD2 Y POD4  
ESCALA 1:10  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



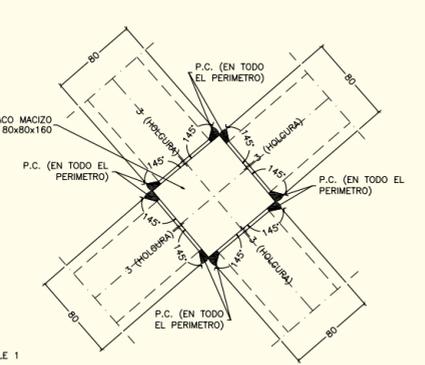
SECCION A-A  
ESCALA 1:5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

SECCION D-D  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

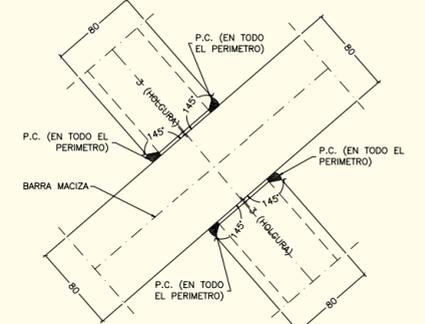
SECCION B-B  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

SECCION C-C  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

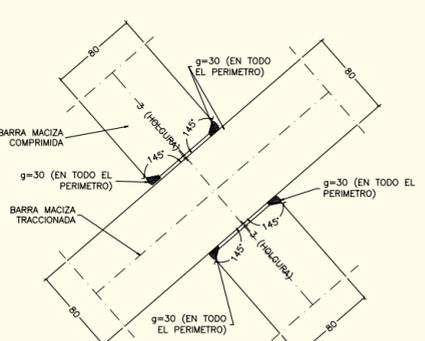
NOTA:  
EN CADA NUDO, EL ESPESOR DE LAS CHAPAS  
1 Y 2 SERA IGUAL AL CORRESPONDIENTE AL  
MAYOR PERFIL QUE LLEGUE AL NUDO



DETALLE 1. INTERSECCION DE DOS TUBOS  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



DETALLE 1. INTERSECCION ENTRE TUBO Y BARRA  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



DETALLE 1. INTERSECCION DE DOS BARRAS  
ESCALA 1:2.5  
(NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)

ESPEJOR PERFIL DIAGRID (mm)	ESPEJOR CHAPAS 1 Y 2 ROSETA (mm)	a1 (mm)	Lmin (mm)
5	20	6	230
6	25	6	230
8	25	7	230
10	30	7	230
12	35	8	230
16	40	12	230
BARRA MACIZA	50	12	260

PROYECTO/PROYECT	PABELLÓN-PUENTE DE LA EXPO ZARAGOZA 2008		
CLIENTE/CLIENT	EXPOAGUA ZARAGOZA 2008 S.A.		
ARQUITECTO/ARCHITECT	ZAHA HADID ARCHITECTS	INGENIERO/ENGINEER	ARUP
STUDIO	10 BOWLING GREEN LANE LONDON EC4A 3DF	ALCALA 54 28014 MADRID ESPAÑA	
CONSTRUCTORA	DRAGADOS URSSA	DETALLES DE FACHADA (1)	
PROYECTO DE EJECUCION	300 - ESTRUCTURA METALICA		
NUMERO DE PLANO	UTE_EJ_EST_300_53_D		
INGENIERO	FHECOR Ingenieros Consultores	Nº PLANO ARQUITECTURA	
C/ BARCELONA, 23 2ª PLANTA 28004 MADRID TELEFONO 91 3014400 FAX 91 5527664			



Fig. 13. Vista trasera del tramo sur durante el lanzamiento.

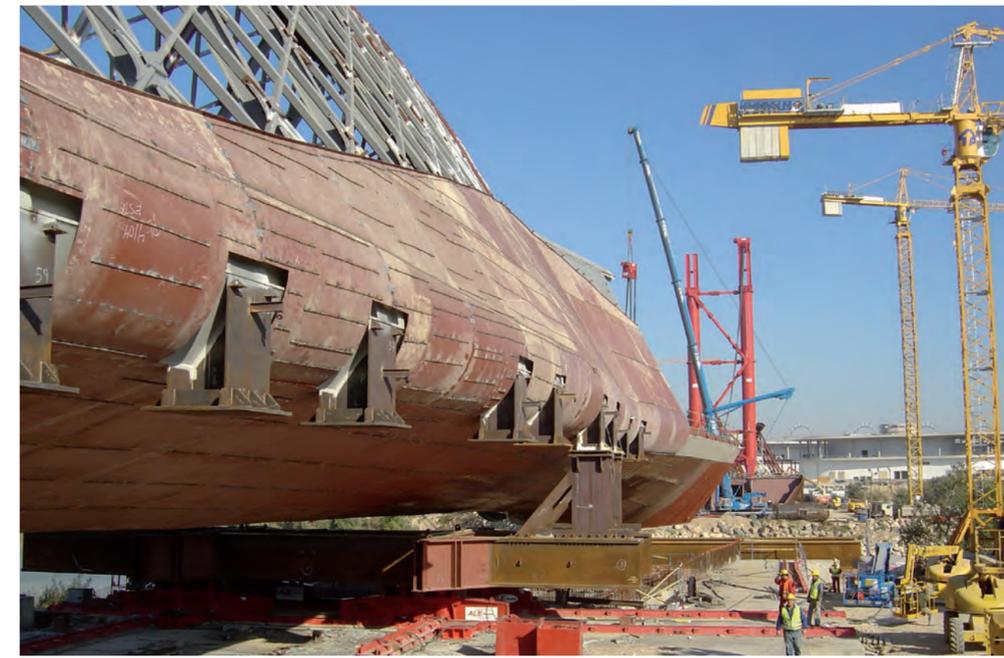
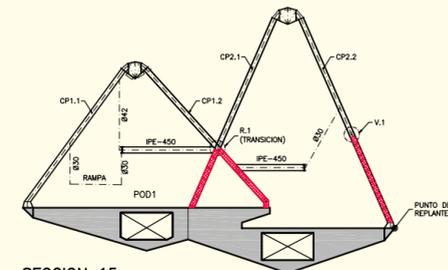
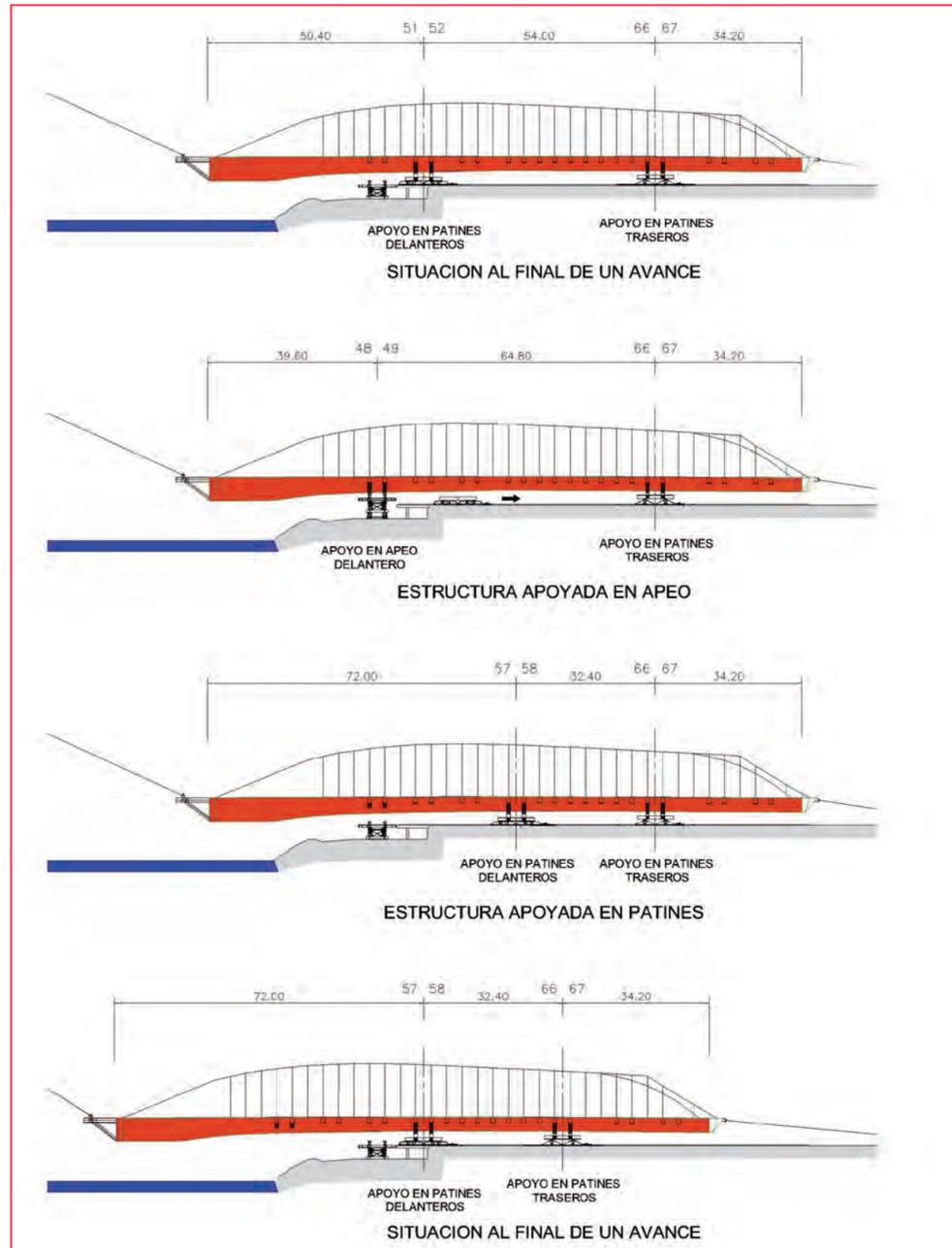
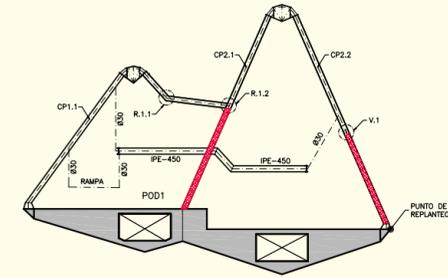


Fig. 14. Muñones de apoyo del puente, en distintas secciones, y los patines de empuje.

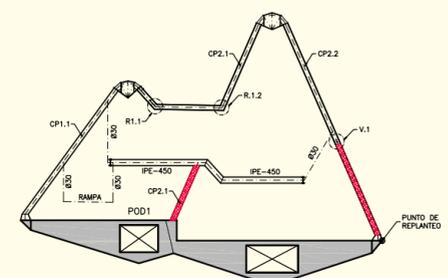
Fig. 15. Maniobras para el movimiento de patines. a) Apoyo de la estructura en el apeo, movimiento del patín delantero a su nueva posición. b) Transferencia de carga del apeo al patín delantero. c) movimiento del puente.



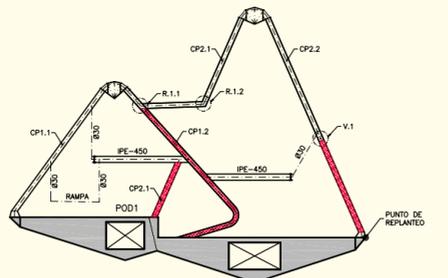
SECCION 15  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



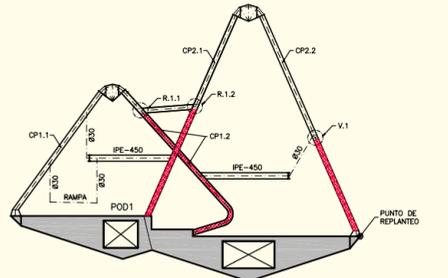
SECCION 16  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



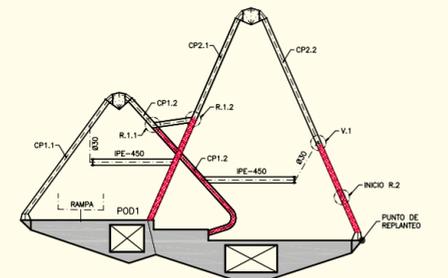
SECCION 17  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



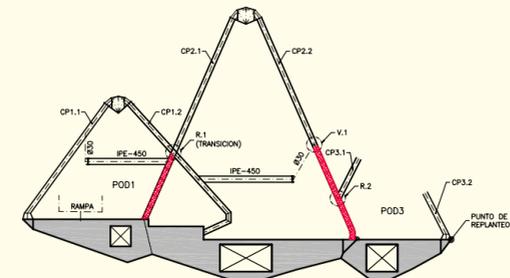
SECCION 18  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



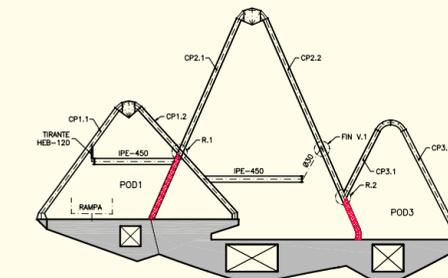
SECCION 19  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



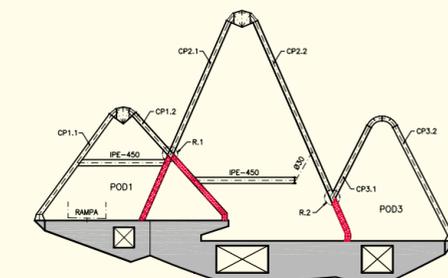
SECCION 20  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



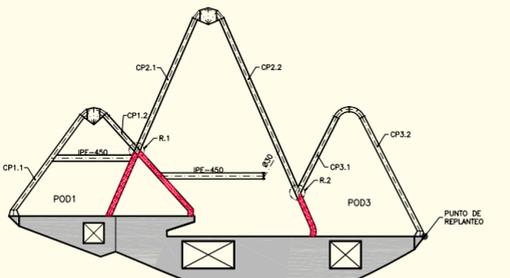
SECCION 21  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



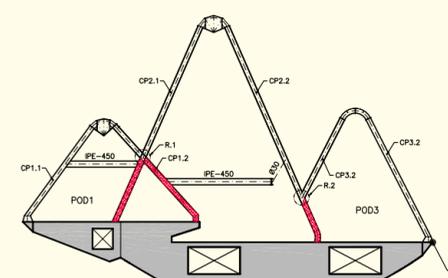
SECCION 22  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



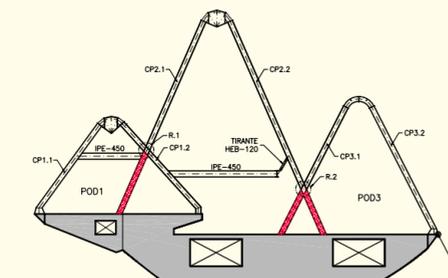
SECCION 23  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



SECCION 24  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



SECCION 25  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)



SECCION 26  
 ESCALA 1:200  
 (NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN EN MILIMETROS)  
 - HORMIGON DE FONDO  
 - CHAPAS DE REFORZO EN COSTILLAS

C	10/09/07	REVISION GENERAL
B	10/01/07	REVISION GENERAL
A	22/12/06	EDICION PARA SUPERVISION
REV	FECHA	MODIFICACION
PROYECTO/PROJECT: PABELLÓN-PUENTE DE LA EXPO ZARAGOZA 2008		
CLIENTE/CLIENT: EXPOZARAGOZA 2008 S.A. PASEO DE LA INDEPENDENCIA, 34 50018 ZARAGOZA, ESPAÑA		
ARCHITECT/ARCHITECT: ZAHA HADID ARCHITECTS		
CONSTRUCTORA: DRAGADOS URSISA		
INGENIERIA/ENGINEER: ARUP		
TITULO DEL PLANO/DRAWING TITLE: SECCIONES TRANS. DEF. DE PERFILES (2)		
DEFINICION/DEFINITION: UTE - PABELLÓN-PUENTE		
EJECUCION/EXECUTION: EJ - PROYECTO DE EJECUCION		
300 - ESTRUCTURA METALICA		
DRAWING NUMBER/NO. DE PLANO: UTE_EJ_EST_300_12_C		
INGENIERIA: FHECOR Ingenieros Consultores		
C/ BARCELONA, 23 2ª PLANTA		
46100 BURJASSOT, VALNCIA		
TEL: 96 341 4400		
FAX: 96 341 4400		
WEB: www.fhecor.com		



Fig. 16. Esquema apoyo de patín trasero en secciones últimas.

ce que está en una posición excéntrica, cuando la realidad era que ese eje pasa por el centro de gravedad del puente. También pueden verse los medios auxiliares necesarios para conectar todos los elementos. En la foto se ve una viga que se instaló en la parte trasera de la parte empujada para permitir la instalación de los cables de retenida.

Durante la mayor parte de esta etapa, el sistema de apoyos era hiperestático; el puente estaba sujeto por el cable de tiro y los patines delanteros y traseros. Sólo en la última fase el sistema volvió a ser isostático; cuando se retiraron definitivamente los patines delanteros y quedó el puente apoyado en el cable de tiro y en los patines traseros. Para garantizar las condiciones de seguridad de todos los elementos, tablero - siste-

ma de tiro - elementos auxiliares, era necesario tener muy controlados los tiros en los cables y las cargas en los patines.

Para cada etapa, el proceso de empuje suponía los siguientes controles y definiciones. Se definían los tiros objetivos del sistema de tiro-retenida y las reacciones previstas en los patines de sujeción del puente. Como durante el avance cambiaba la geometría y con ella cambiaban las condiciones de los puntos de control, se estudiaban las condiciones iniciales y finales. El empuje consistía en sobretesar ligeramente los cables de tiro y mantener esa fuerza durante toda la etapa. El puente se movía porque se soltaba el cable de retenida de forma muy controlada. Siempre era posible establecer un equilibrio

Fig. 17. Posición del puente durante una fase intermedia del proceso de lanzamiento.



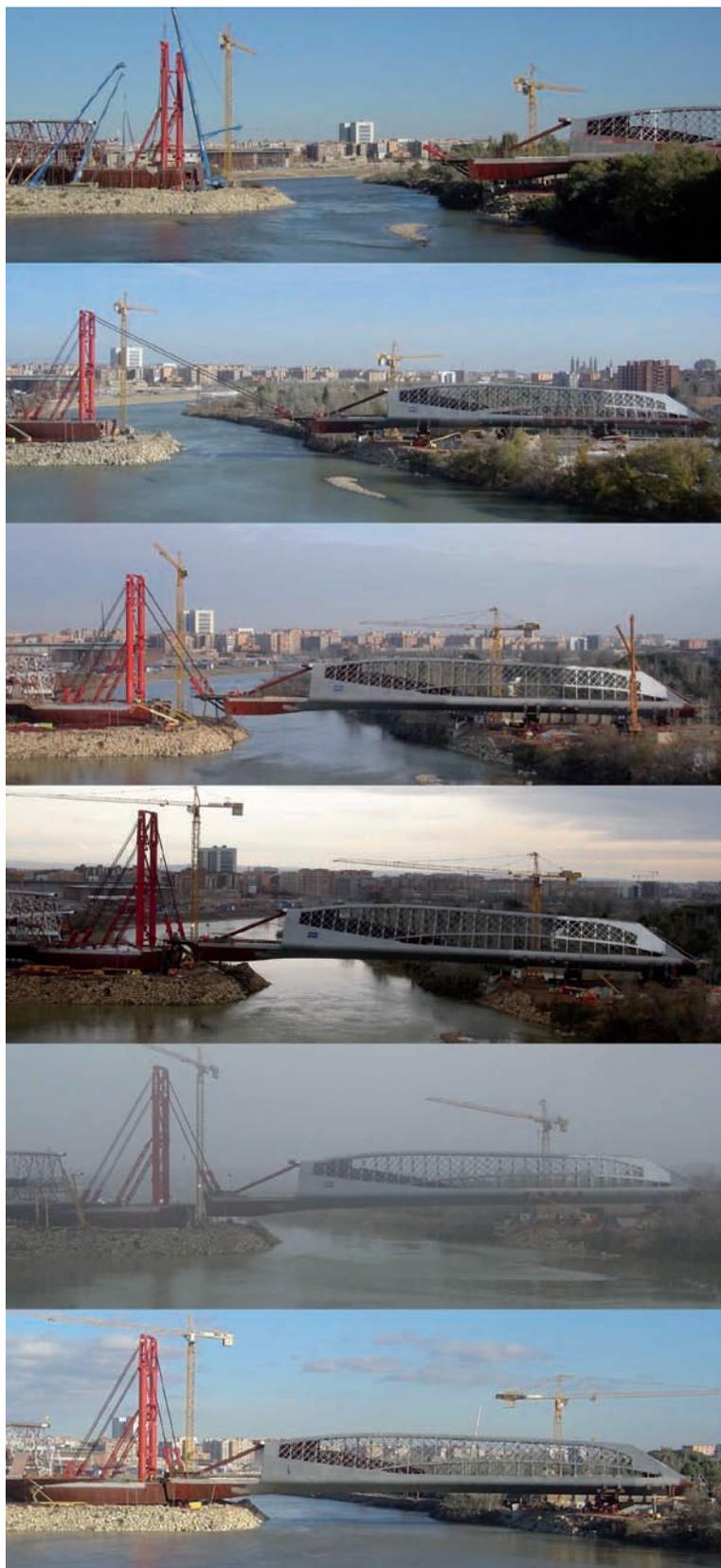


Fig. 18. Secuencia del lanzamiento en la segunda fase.

entre la fuerza de tiro y retenida para mantener un movimiento casi constante del tramo empujado.

Debido a la geometría no regular del puente, como ya se ha dicho, el empuje se produce sobre un camino de rodadura recto coincidente con el eje de empuje y es el puente quien tiene que ser soportado, en las distintas etapas, en diferentes secciones. Por esta razón se han definido todas las secciones de apoyo necesarias y en ellas los muñones correspondientes, que son los elementos de contacto entre el puente y los patines de apoyo.

En cada etapa es necesario cambiar de posición alguno de los dos patines de apoyo del puente. En este momento el puente se apoya en un apeo, que tiene un situación fija lo más próxima posible al borde del río. Para ello es necesario transferir la carga del patín que se mueve al apeo, luego retrasar el patín correspondiente y, finalmente, volver a transferir la carga del apeo al patín. Después de todas estas maniobras el puente se encuentra en condiciones para iniciar una nueva etapa de empuja.

Con este sistema se ha procedido el movimiento de los últimos 79.00 m, en 15 etapas que supusieron 18 configuraciones de apoyos distintas.

### Tercera fase.

#### Descenso del puente hasta su cota final

Para poder instalar bajo la estructura lanzada los elementos necesarios para el deslizamiento, fue necesario construir y desplazar la estructura elevada 2.70 m respecto a su cota definitiva. Por tanto, una vez concluido el movimiento longitudinal, se procedió a descenderlo la magnitud indicada.

Descender el extremo delantero presentaba pocos problemas, pues únicamente era necesario soltar el cable de tipo. Sin embargo, para descender la parte trasera, debido a que el estribo es esviado fue necesario instalar una estructura de *gateo* auxiliar.

La estructura auxiliar metálica permitía que la parte trasera del puente apoyara alternadamente sobre gatos que permitían el descenso en recorridos de 500 mm o sobre la estructura metálica cuando se bajaban los gatos.

Esta maniobra fue complicada, porque era necesario mantener la cota de los apoyos y evitar que se produjeran giros, y consecuentemente torsiones inducidas, en el tablero.



Fig.19. Estructura especial de gatero para descender el estribo sur de la parte lanzada.



Fig. 20. Sensores instalados en los elementos de sujeción del puente y resultados recibidos en un ordenador de los esfuerzos en las patas durante una etapa del proceso.





Fig. 21. Últimos trabajos de acabados, una vez ha concluido el montaje de la estructura. Marzo de 2008.



Figs. 22 y 23. Distintas vistas del pabellón puente terminado.

### Control geométrico e instrumentación

Para toda la maniobra del lanzamiento se ideó un sistema muy simple de auscultación. Se instrumentaron las patitas y las diagonales con bandas extensométricas, para poder estimar las reacciones que entraban en el sistema de patines desde el puente. Asimismo se controló, con un sistema automatizado, las deformaciones verticales de algunos puntos del puente, el desplome de las torres provisionales de empuje y la posición del macizo de retenida.

La instrumentación permitía tener una estimación de las reacciones del puente, en cada etapa, lo que era muy útil porque era una estimación de los esfuerzos tanto en la parte lanzado como en los medios auxiliares de empuje.

El control topográfico fue también de gran utilidad para ver la tendencia de las deformaciones del tramo empujado y de los medios auxiliares.

Todas las unidades de tiro utilizadas disponían un sistema digital que permitía ver en todo momento las fuerzas que había en cada cable.

### Unión entre las distintas partes y desapeo de la parte norte

Una vez realizado el empuje se inició la unión de las dos partes, comenzando por el cajón y continuando por la estructura superior; cordón superior, y terminando con paneles de fachada. Concluido este proceso se eliminaron los apoyos provisionales existentes en la península y la estructura quedó apoyada únicamente en sus apoyos definitivos.



Fig. 24. La dimensión humana del proyecto y la construcción.

### Consideraciones finales

Este ha sido un grandioso reto de ingeniería y ha sido posible gracias al magnífico trabajo de muchísima gente. Es extraordinario sentir y ver el resultado de tanto esfuerzo.

La ingeniería estructural es siempre un protagonista importantísimo de cualquier obra, muchas veces silencioso e ignorado, que hace realidad las ideas más difíciles.

Toda esta contribución humana, que tantas veces se olvida, lo ha hecho posible. ♦