

## El puente de la barqueta

MANUEL MORATO MORENO

1

El río Guadalquivir, cuyos dos brazos delimitan la Isla de La Cartuja, será el gran marco escénico de la Expo-92. Sus aguas, reconducidas por un canal a lo largo del eje principal de la Exposición, fluirán hasta un gran lago artificial, verdadero centro panorámico de la Muestra.

Ya desde que la organización de la Expo-92, a través de la Comisaría General de España, convocase en 1986 el Concurso de Ideas para la Ordenación del Recinto de la Exposición y su encuadre en el marco territorial, un objetivo esencial que se planteaba a los concursantes era el "lograr un fácil acceso al Recinto de la Muestra, imprescindible para el éxito de un acontecimiento que tiene rango universal..."

Tras el Concurso de Ideas y una larga elaboración y depuración de sugerencias, se va perfilando el Plan Director, el cual sufre continuamente variaciones y modificaciones de carácter puntual; sin embargo casi desde el principio se mantienen para acceder al Recinto cuatro nuevos puentes sobre el Guadalquivir, que salen a concurso:

- **La Pasarela de la Cartuja** cuya misión es conectar el casco histórico de la ciudad con la Cartuja de las Cuevas. Según las bases del concurso esta nueva pasarela debería mantener sin obstáculos visuales la relación paisajística entre Sevilla y el Monasterio Cartujo.

El concurso lo ganaron los ingenieros: Fritz Leonhart, Andrä und Partner; Stuttgart (R.F.A.); y la empresa Iberinsa. Se proyecta una estructura de líneas muy sencillas, asimétrica -viga continua con dos apoyos intermedios- (solución tipo ortotropo), con una longitud total de 238 metros, salvando el río con un vano central de 170 metros de luz. El ancho del tablero es de 11 metros y el canto varía entre los 3 y 6 metros.

- **La pasarela de la Barqueta** conectaría el caso antiguo de la ciudad con el Recinto de la Exposición en el lugar en el que históricamente existió un embarcadero para cruzar el Guadalquivir en las inmediaciones del Monasterio de San Clemente. Según las bases del concurso no podía tener apoyos intermedios sobre el río, debiendo ser de un solo tramo, ya que se pretende establecer en el Meandro de San Jerónimo una Pista Olímpica de remo y piragüismo, lo cual sería incompatible con la existencia de cualquier obstáculo en el tramo del río utilizado para las competicio-

nes. El concurso se falló a favor del proyecto presentado por los ingenieros de caminos Juan José Arenas y Marcos Pantaleón.

De un solo arco de 168 metros de luz, colgará de una única línea de péndolas el tablero de 21 metros de ancho. El puente descansa sobre cuatro soportes de hormigón en las márgenes del río, quedando así la luz del vano diáfana de cualquier obstáculo. Las empresas adjudicatarias de la obra son Auxini y Ensidesa, en unión temporal, comenzán-

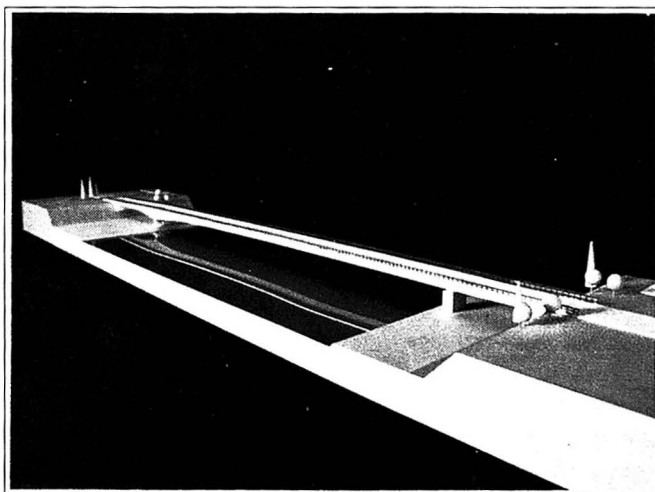


Figura 1  
Pasarela de la Cartuja

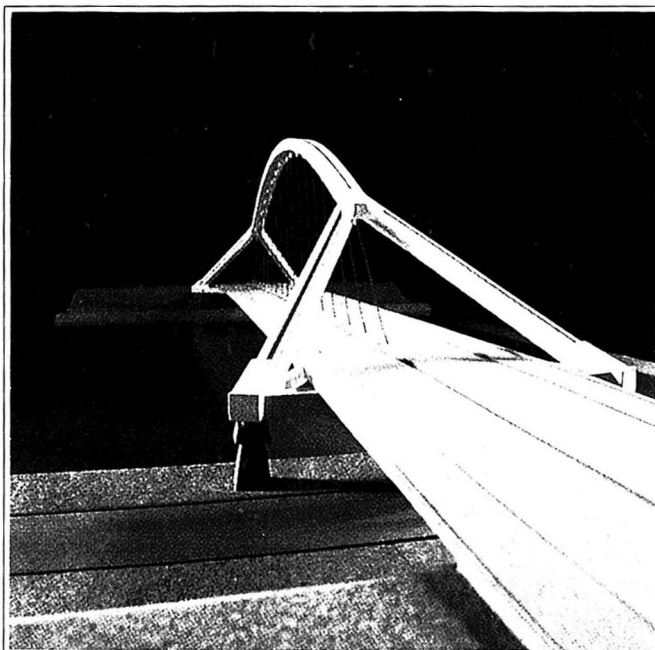


Figura 2  
Puente de la Barqueta

dose las obras el día 26 de junio de 1988 con un presupuesto inicial de 692.821.920 pts.

El **punto de Chapina** que conectará la Plaza de Armas con la salida al Aljarafe, Huelva y Extremadura sobre las aguas de la Dársena del Guadalquivir, una vez restituido su cauce histórico. El proyecto ganador del concurso fue presentado por el ingeniero de caminos José Luis Manzanares. Se trata de una estructura de líneas sencillas: sobre un solo arco parabólico de hormigón armado que salva sin apoyos el seno del río. Con una luz total de 126 metros, se apoya el tablero que presenta un cuidado diseño, prestando especial atención a los viales peatonales. Su trazado se realiza sobre los terrenos ganados al río con el aterramiento de Chapina, lo que permitirá ejecutar el puente "en seco" es decir, utilizando el propio terreno como encofrado del arco, retirándose posteriormente las tierras para dar paso a la apertura del cauce del Guadalquivir eliminándose el tapón hidráulico de Chapina que se acometió con motivo de la Corta de la Cartuja a finales de los años 40.

El **Viaducto Sevilla-Camas**, que se encuentra ubicado en el extremo Oeste de los terrenos de la Exposición, se diferencia de los anteriores, esta obra por su envergadura, que sale del marco urbano pasando al territorial. Une el extremo oeste de la ciudad próximo a San Jerónimo, con el Municipio de Camas en el área metropolitana de Sevilla; cruzando el río dos veces: primero el Meandro de San Jerónimo y luego tras atravesar la Isla de La Cartuja sobreelevado 10 metros sobre el nivel del suelo, salva el río de nuevo por el cauce de la Corta.

El jurado decidió en favor de la propuesta del arquitecto-ingeniero Santiago Calatrava, el cual proyectó una obra majestuosa y monumental. Con

una longitud aproximada de 4.300 metros, el viaducto está dividido en varias secciones: calzada-puente-calzada-puente. Los puentes son dos estructuras gemelas con suspensión por cables del tablero desde sendas torres excéntricas, "a modo de arpas", que por sus dimensiones, 162 metros de altura las torres y 250 metros de luz los puentes, han sido concebidas como construcciones que marcaran los límites de los terrenos de la Exposición.

El realizar un breve paseo por los puentes de la Expo nos ayuda a conocer un poco la realidad global del tema, pero vamos a centrarnos más concretamente en el estudio, desde el punto de vista de un observador interesado, del puente de la barqueta, y hay que decir "puente", porque llamar pasarela a una estructura de 168 metros de luz, salvada con un solo arco atirantado, es un eufemismo.

Con este puente se conectan el casco antiguo de la ciudad a través de la calle Torneo a la altura de la confluencia con las calles Calatrava-Blanquillo y Resolana con el Recinto de la Exposición. En este lugar históricamente existió un embarcadero para cruzar el Guadalquivir en las inmediaciones del Monasterio de San Clemente.

Una vez que finalice la Exposición está previsto que el puente -calculado también para el tráfico rodado- pase a formar parte de la estructura viaria de la ciudad uniéndola con las inmediaciones del lago de la Cartuja.

Básicamente el puente consta de un arco de acero atirantado que salva toda la luz entre los apoyos situados a uno y otro margen.

Los componentes horizontales de los empujes son absorbidos por el tablero, igualmente de acero, que de esta manera atiranta el arco. A su vez, de éste gravita el tablero colgado mediante un plano central de péndolas.

Para darle estabilidad al conjunto rígido arco-tablero-péndolas, el arco se descompone en sus entregas en sendas bielas triangulares de tal forma que se consiguen cuatro puntos de apoyo. El tablero pasa entre estos pórticos triangulares empotrándose en las bases, quedando dividido longitudinalmente por el plano de las péndolas. Estas van variando su inclinación según la posición que ocupan, siendo perpendiculares al arco en el centro del tablero (posición vertical) y variando progresivamente su inclinación hacia cada uno de los extremos en donde tienden a ser casi paralelas al arco.

2

El tema estructural es importante, pero no pretendo exponer aquellos datos y bases que se han utilizado para el cálculo real del puente. La intención es menos ambiciosa, y ha querido centrarse en exponer de manera intuitiva aquellos fundamentos esenciales que rigen su comportamiento. Los instrumentos para ello han sido la observación analítica y las nociones sobre Resistencia de Materiales.

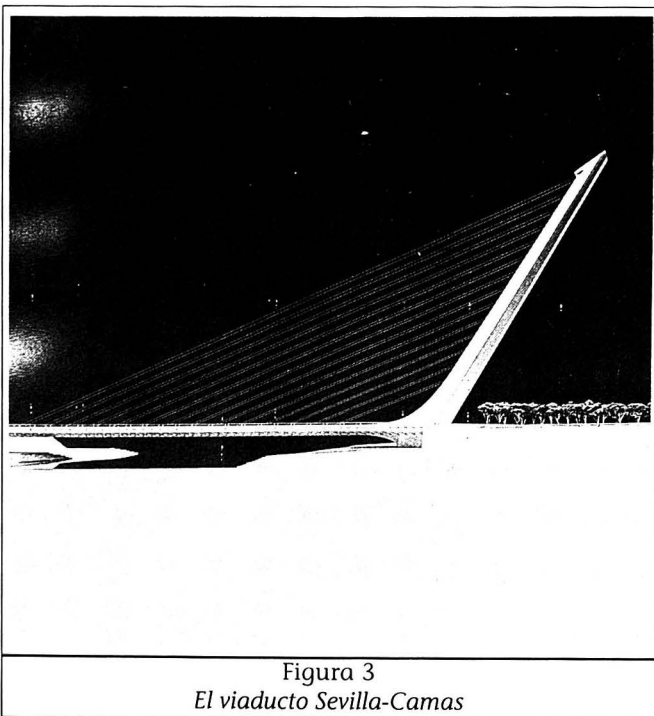


Figura 3  
El viaducto Sevilla-Camas

Para realizar el análisis podemos considerar éste desde dos puntos de vista distintos: macroscópicamente, es decir un elemento resistente que salva una distancia entre vínculos, sometido a una serie de acciones exteriores. O bien, como una estructura compleja formada por otras simples con interacciones internas mutuas.

Siguiendo el primer camino de análisis, vemos que básicamente podemos simplificar el problema en el siguiente esquema:

Este primer análisis simplista supondría que a través del correspondiente canto necesario, el puente trabaja a flexión para salvar la luz entre apoyos. Sin embargo esto no es así y tal análisis sólo es válido en cuanto a reacciones externas se refiere, puesto que al ser un arco atirantado, el estudio de éstas ha de realizarse como si de una viga apoyada en sus extremos se tratase.

Pasamos pues analizar lo que antes hemos denominado "*material resistente*", para qué geometría concreta tiene y cómo trabaja:

Tenemos un arco continuo sometido a su propio peso, más el peso y las sobrecargas del tablero que lo atiranta. Ambas estructuras se encuentran mutuamente empotradas en sus extremidades en donde se apoyan en los vínculos externos. Podemos analizarlas por separado, quedando recogidos estos análisis en los gráficos adjuntos. Superponiendo ambos esquemas podemos tener una aproximación "*a estima*" de los diagramas de esfuerzos del conjunto.

El puente consta de tres elementos estructurales diferenciados que se comportan conjuntamente como un sólido rígido: arco-tablero-péndolas. El arco salva la luz del vano, mientras que el tablero se suspende de él a la vez que absorbe los empujes ho-

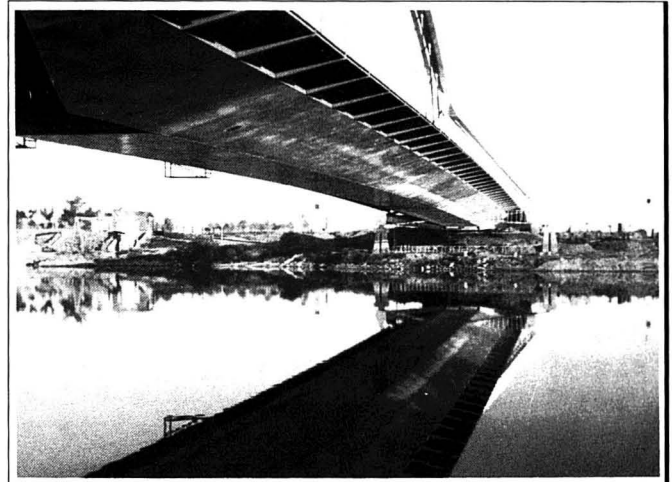


Figura 4

rizontales que se producen en las extremidades del arco. Para colaborar a contrarrestar los empujes, las péndolas no sólo sostienen el tablero sino que además lo tensa acortando la distancia entre los extremos e introduciendo una acción de postensado.

Al ser coplanarios el arco y las péndolas, se hacía necesario conseguir un incremento de inercia en los extremos que garantizase la estabilidad al vuelco del conjunto. Esto se consigue desdoblado el arco en sus arranques mediante dos bielas o pórticos triangulares de descarga. De esta forma se consigue que una estructura plana biapoyada pase a ser tetrápoda, ganando en estabilidad y reparto de la carga.

El arco tiene sección rectangular en cajón formada por palastros soldados. Uniformemente repartidos y coincidiendo con las péndolas, existen dia-

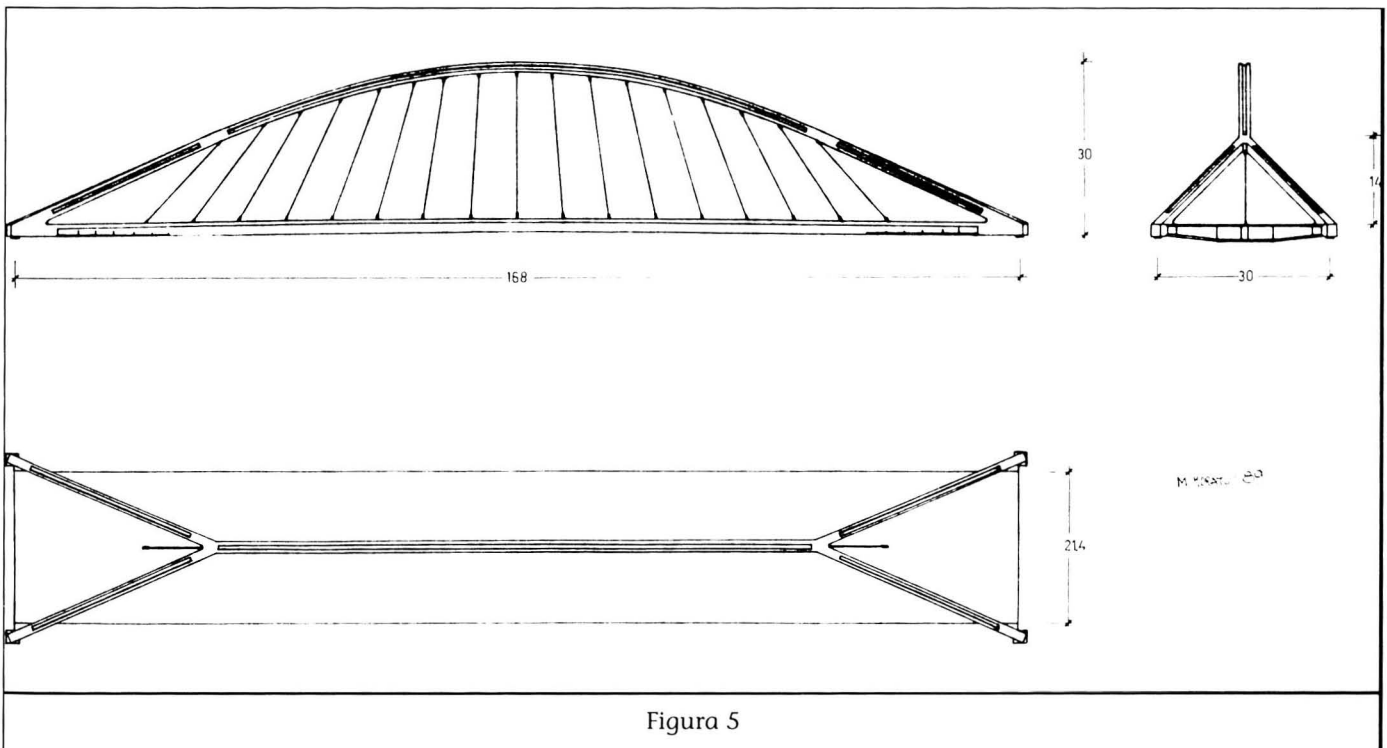


Figura 5

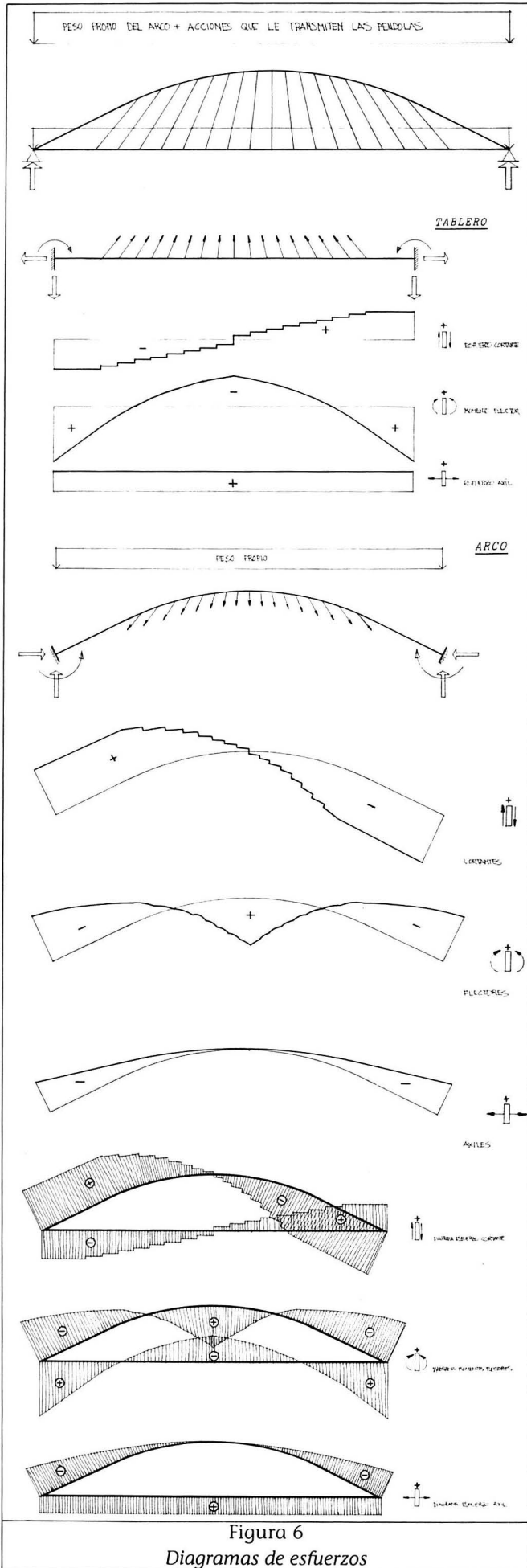


Figura 6  
Diagramas de esfuerzos

fragmas transversales para dar rigidez a la torsión y absorber el esfuerzo local de ésta. Estos diafragmas llevan una perforación o ventana en el centro que hacen practicable el arco interiormente para las soldaduras interiores.

El tablero de forma trapezoidal alargada, tiene una sección tricelular, constituida exteriormente por chapones de acero soldados. En el interior posee dos almas continuas compuestas por elementos longitudinales de chapa plegada soldadas sobre palastros que conforman la célula central. La platabanda superior también lleva vigas longitudinales de chapa plegada soldadas al chapón exterior, al igual que la platabanda inferior en el tramo central, sustituyéndose en los tramos laterales (inclinados) la chapa plegada por perfiles IPE.

Todo el conjunto se rigidiza mediante diafragmas transversales constituidos por un perfil IPE, perimetral a la sección, y seis montantes, estando arriostrados los cuatro centrales por dos perfiles UPE soldados en los encuentros mediante cartelas.

Con posterioridad al montaje del puente y a su colocación en su emplazamiento definitivo, se completa la sección del tablero con la adición por soldadura, de unas piezas en voladizo a cada uno de los lados, para formar las bandas peatonales laterales.

En ambos extremos, el tablero se cierra con una viga que arriostra inferiormente los pórticos de descarga del arco, apoyándose el puente sobre sus soportes a través de los extremos de las vigas. Para transmitir los esfuerzos horizontales que transmite el arco a las extremidades de las mismas se disponen dos tirantes convergentes o tornapuntas que partiendo de los apoyos, se encuentran con el tablero donde se solidarizan con las platabandas inferior y superior del mismo transmitiéndole el esfuerzo horizontal de tracción.

### 3

Pero no todo es cálculo. Es preciso llevar a la realidad ésta magna y ligera estructura. Para entender mejor el proceso seguido en la construcción, debemos hacer una serie de consideraciones previas.

El puente carece de pilares de apoyos intermedios, y sólo adquiere estabilidad propia una vez realizado el conjunto rígido arco-tablero-péndolas. Esto nos lleva a una solución de ejecución simultánea de estos elementos apoyándolos provisionalmente sobre estructuras de apeo, al menos hasta que una vez "cerrado" el arco y atirantado éste por el tablero, la estructura que constituyen ambos comience a trabajar por sí sola.

Seguir este sistema y ejecutarlo "in situ" supone la tremenda dificultad de establecer sobre el agua todo el andamiaje para ir construyendo simultáneamente el arco, además del necesario para la movilidad de la maquinaria de transporte y elevación de las diferentes piezas.

Prácticamente necesitaríamos cubrir todo el ancho del río mediante un gran entarimado que hiciese de plano de trabajo, a través de una estructura de fijación por apoyo en el lecho, o bien mediante flotación.

Los inconvenientes surgen pues más como consecuencia del entorno, que por el puente en sí mismo, ya que básicamente se trata de construir una estructura isostática y colocarla en unos apoyos. Surge entonces otra posibilidad:

Construirlo en seco en una de las orillas, paralelamente al río, y posteriormente girarlo 90° hasta llevarlo a su posición definitiva. Para ello será necesario mantener un punto fijo común en ambas posiciones -paralela y perpendicular al río- sobre el que girará todo el conjunto.

Este sistema, que desarrollaremos a continuación, aunque no exento de dificultades, presenta una serie de ventajas con respecto al anterior. Por un lado se acorta considerablemente el tiempo de montaje al ser éste totalmente en seco, empleando el terreno como plano de trabajo. Las condiciones de seguridad son mayores y no se interrumpe durante el tiempo de construcción el cauce del río.

Así pues, se decide, por razones diversas (mayor espacio, control de seguridad, etc...) montar el puente en la margen de la Isla de la Cartuja.

Las diferentes piezas que compondrán el tablero y el arco vienen, en su mayoría, prefabricadas de los talleres de Ensidesa y llegan a obra clasificadas y con una primera imprimación antioxidante.

Lo primero que se construye son los cuatro soportes de hormigón armado (dos en cada orilla). Cada uno se cimenta sobre cuatro pilotes con el correspondiente encepado. Sobre la coronación del soporte se encuentra el elemento de apoyo con el puente, constituido por un disco de neopreno que está embebido parcialmente en otro disco de hormigón de mayor diámetro. El neopreno será también el encargado de absorber los esfuerzos debidos a la dilatación térmica. No es preciso mencionar la vital importancia para el éxito de la operación posterior de giro, es el perfecto replanteo y nivelación de los cuatro soportes, puesto que el puente tras girar 90°, ha de presentar coincidentes sus puntos de apoyo con los de los soportes correspondientes. Una vez terminados los soportes, todos los trabajos se centran en la orilla de la Isla de la Cartuja:

Todo el tablero se irá montando mediante la adición de piezas de acero que se unen por soldadura y que se van apoyando sobre una doble fila longitudinal de pilares de hormigón. El eje de esta serie de apoyos intermedios provisionales lo definen los dos apoyos definitivos del puente.

Un elemento fundamental en todo el proceso es el mecanismo de giro, o "bisagra", que hará posible el movimiento de rotación del puente, y consta fundamentalmente de dos elementos: una pila central, situada en el eje de giro, que termina en una rótula sobre la que se apoya la viga terminal o traviesa

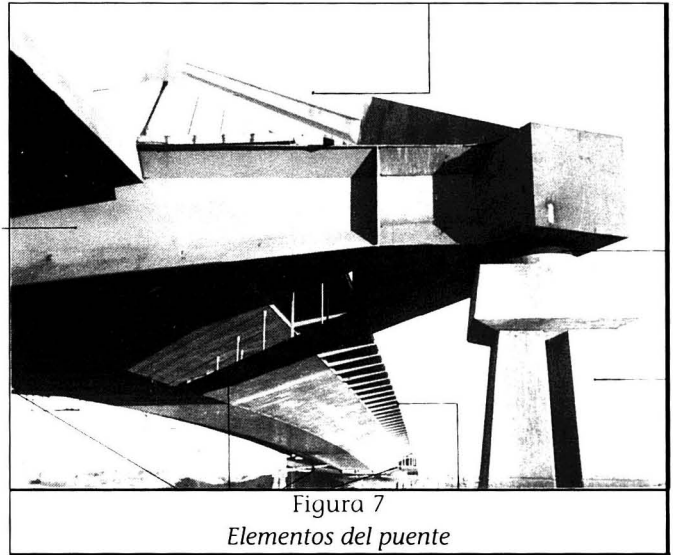


Figura 7  
Elementos del puente

del tablero en su punto medio. y un muro cilíndrico de hormigón armado concéntrico con este soporte y partido verticalmente en dos (para poder ser registrado interiormente) coronado por un carril guía de acero.

En esta guía se encajan dos pates diametralmente opuestos con respecto al eje de giro, soldados al ala inferior de la viga terminal o traviesa. Este dispositivo se proyectó como medida de seguridad para evitar que el tablero al girar pudiera salirse del eje de giro en caso de fallar la rótula.

La cimentación de este sistema se realiza a la par que la de los soportes, mediante cuatro pilotes y encepado octogonal. Posteriormente se levantan los muros semicilíndricos y la pila de giro.

Como se ha descrito anteriormente, el tablero lleva en cada extremo una viga de acero que cumple diversas funciones: apoyo del puente, arriostamiento de las extremidades del arco y servir de elemento de unión del puente con el resto del vial. Pues bien, la construcción del tablero se inicia en cada extremo con esta viga compuesta por alma y alas de palastros soldados. Su inercia es variable, al igual que el resto del tablero, aunque algo mayor de canto que éste.

En el extremo fijo, dicha viga se apoya por la parte central en el mecanismo de giro. En el otro extremo, que realizará el movimiento hasta la otra orilla, la viga se apoya en sus extremos sobre dos

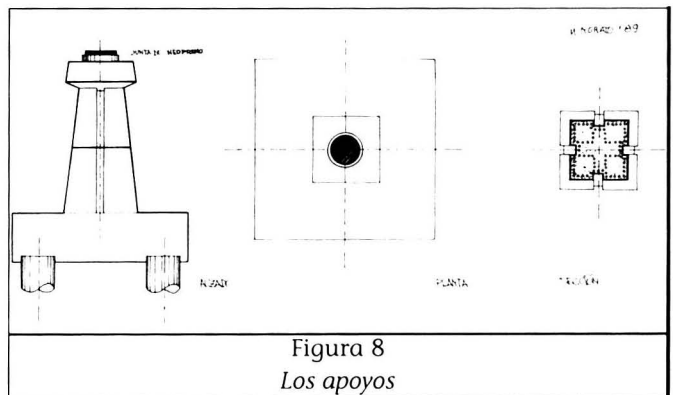


Figura 8  
Los apoyos

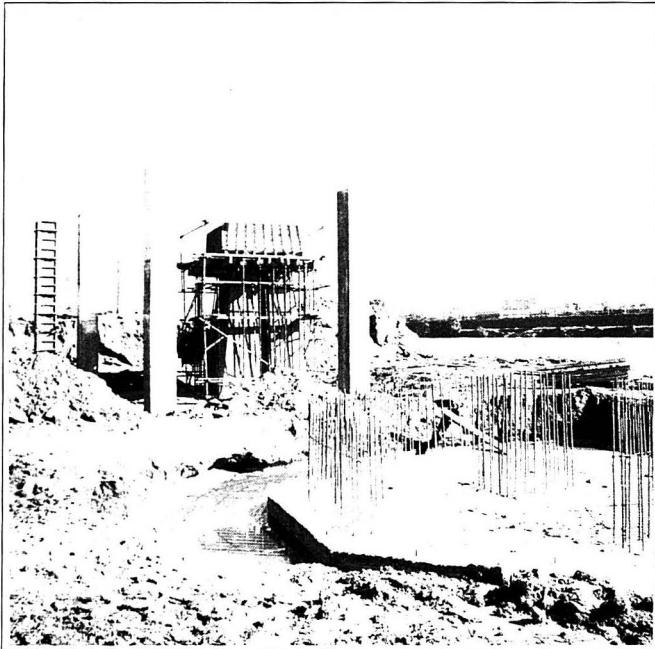


Figura 9  
*Panorámica de los apoyos*

pilares que rematan la doble línea de soportes, pero cuya sección es circular y sensiblemente mayor que la de los interiores. En el otro extremo la viga travesa, como se dijo anteriormente, se sustenta en

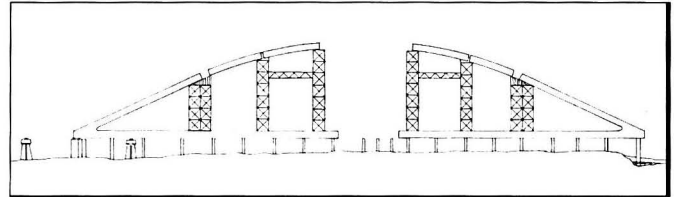


Figura 10  
*Fases de la construcción*

dos columnas de hormigón armado.

Partiendo de estas vigas, y en cada uno de los extremos, comienza a montar el tablero, dividido en 17 trozos, cada uno de los cuales se forma por la adición de tres piezas. Es decir que cada sección transversal (17 en total) del tablero viene montada de taller en tres trozos -el central y dos laterales- que se ensamblan sobre cada pareja de pilares.

Se avanza, de los extremos, hacia el centro, hasta aproximadamente 1/6 de la luz del tablero. Sobre éste se alzan los dos primeros castilletes de apeo para recibir los arranques del arco. El andamiaje se construye con estructura triangulada de perfiles de acero, y se ancla mediante tirantes al propio tablero para que el conjunto adquiera resistencia al viento.

Después se procede a completar el tablero y se levantan dos nuevos castilletes de apeo para recibir,

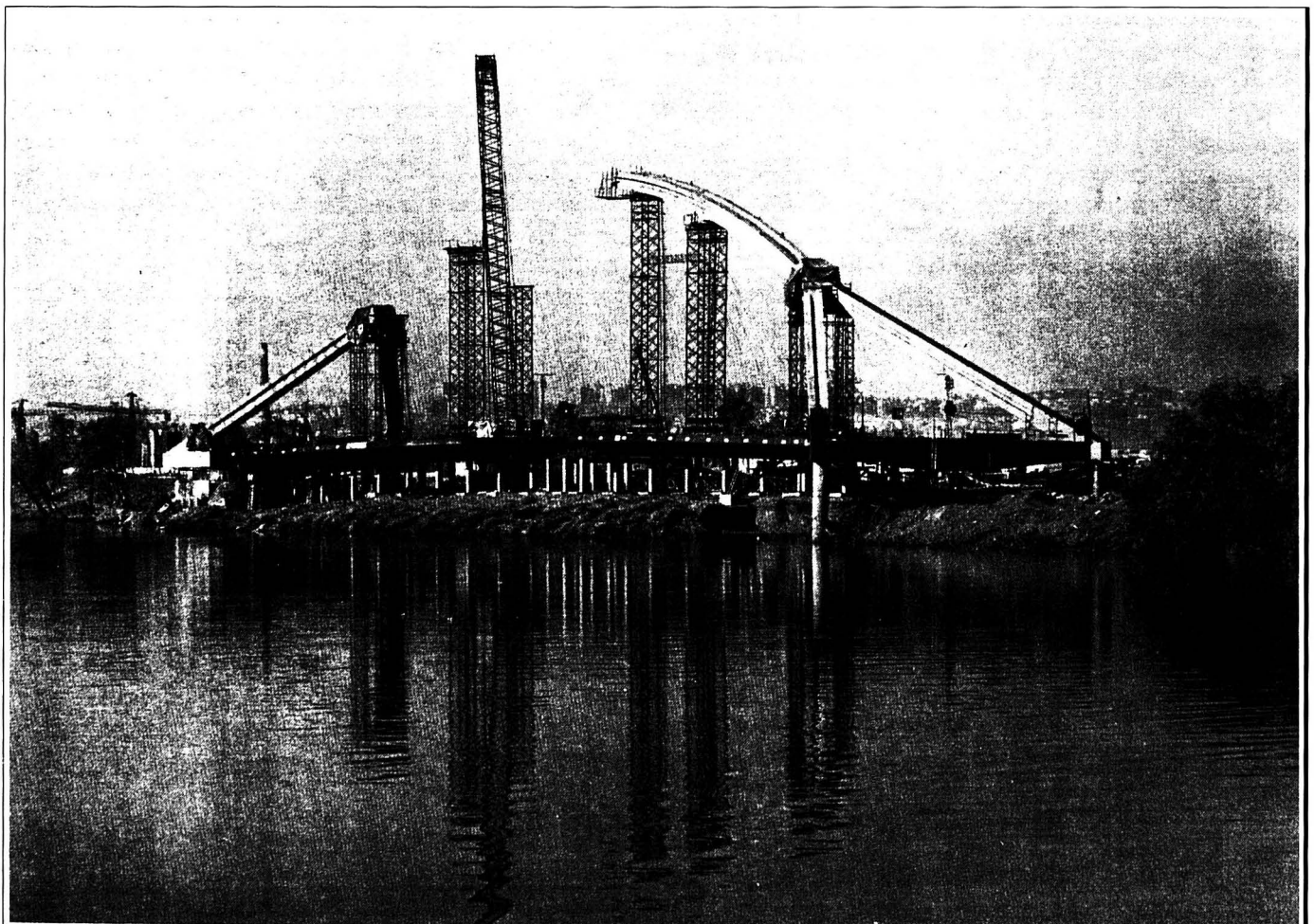


Figura 11  
*Panorámica desde el río del montaje*

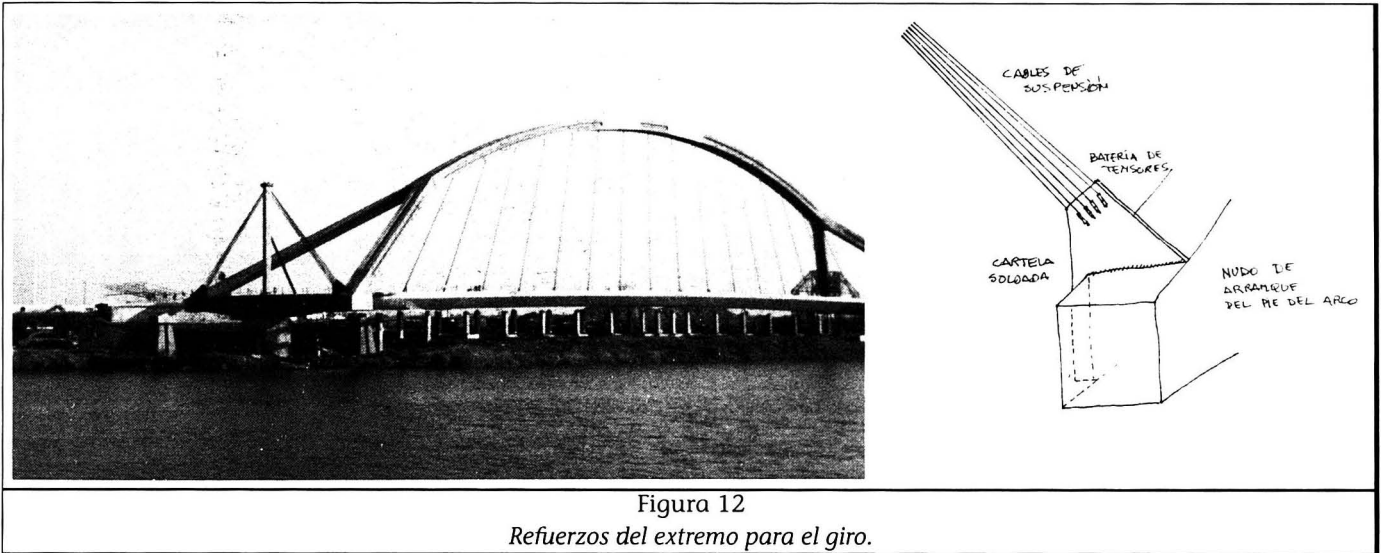


Figura 12

Refuerzos del extremo para el giro.

apoyándose en los anteriores, dos nuevos trozos del arco. Finalmente, mediante otros dos andamios, se cierra el arco con la pieza central.

La siguiente fase es la suspensión del tablero, mediante las péndolas, del arco. Conforme éstas van entrando gradualmente en tensión, el tablero va cargando su peso, sobre el arco y descargándolo de los pilares.

Según van entrando en tensión las diferentes péndolas, se van retirando las torres de apeo transmitiéndose las cargas a los soportes extremos (pilares circulares y mecanismos de giro) al comenzar a trabajar el arco como tal. Para el tensado, el tablero posee unas ventanas en la cara inclinada inferior. Las péndolas constan de un tubo de acero que lleva en su interior una serie de cables que se anclan independientemente en el interior del tablero, por lo que en cada una se puede ir regulando paulatinamente la tensión actuando sobre cada uno de los cables.

#### 4

En el extremo que describirá la trayectoria de giro, la resultante vertical de las cargas que transmite el arco son conducidos al terreno a través de las columnas de hormigón. En el extremo opuesto el pórtico de descarga tiene sus bases "al aire", puesto que, como hemos visto, el apoyo en este extremo se produce sobre la rótula en la parte central de la viga de arriostramiento, o traviesa. Esto supone someter a ésta a unos fortísimos esfuerzos de flexión y cortante.

Para resolver estos inconvenientes se procede, antes del tensado de péndolas, a descargar las acciones del arco en este extremo, reconduciéndolas a través de unos cables de suspensión que penden de un mástil central situado exactamente en el eje de giro. Este pilar, fuertemente armado, lleva en su base un cajón de acero donde se sueldan las armaduras longitudinales. El cajón incorpora en su base unos taladros que le sirven para anclarse al ala su-

perior de la viga traviesa mediante unos tornillos de alta resistencia. En la parte superior lleva una cabeza con unos tubos pasantes o "trompetas" que permiten el paso de los cables de un extremo a otro del mástil.

Por simetría, las componentes horizontales de la tensión de los cables se anulan, y las verticales se conducen a través del mástil a la traviesa, que refuerza en este punto su alma mediante dos rigidizadores que evitan el pandeo de ésta. Finalmente se descarga a cimientos mediante la pila de giro.

Para dar rigidez al mástil, se apuntala con un perfil metálico soldado en un extremo a una placa del anclaje sobre una cara de la parte superior del pilar, mientras que en el otro extremo se suelda al tablero.

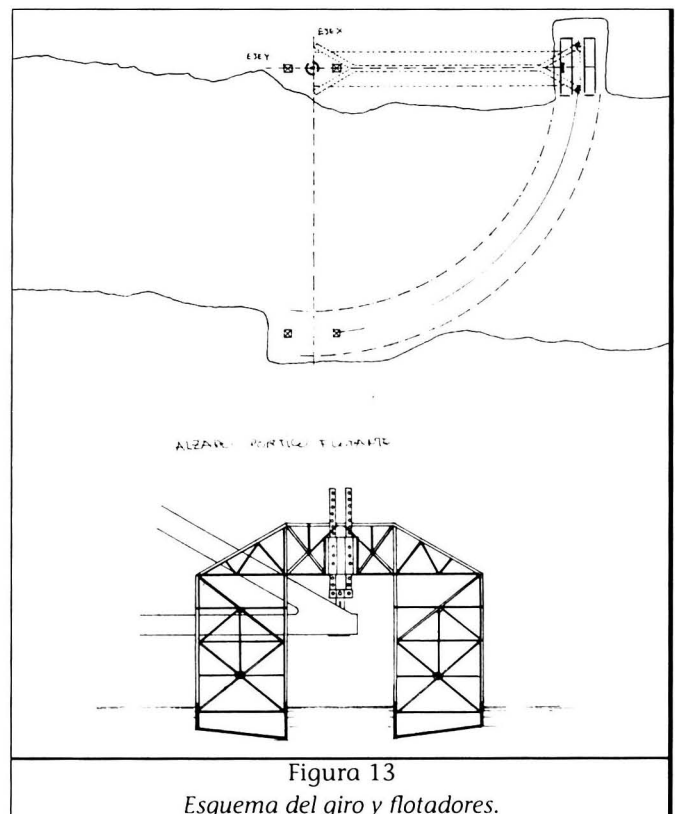


Figura 13

Esquema del giro y flotadores.

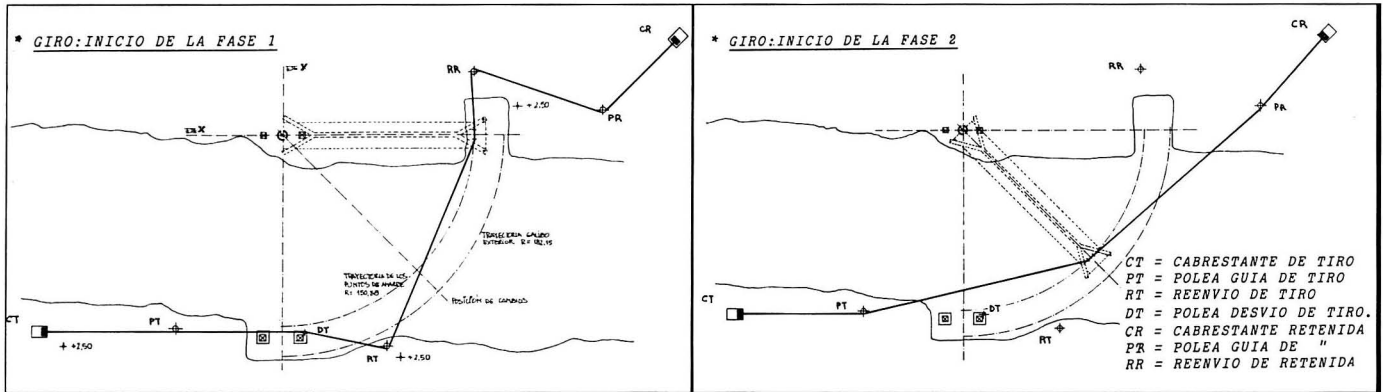


Figura 14  
Esquemas de las dos fases del giro

Una vez ya construido todo el puente sobre una de las orillas del río, es preciso proceder a la maniobra de giro para que ocupa su posición definitiva. Esta se va a efectuar mediante la carga del extremo libre del puente en dos pórticos flotantes unidos entre sí. Para moverlo se tira de dicho extremo con un cabrestante, cuyo cable se ancla al intradós del tablero.

En primer lugar hay que efectuar el dragado alrededor de las pilas para dar paso a los flotadores, tanto en el punto de partida como en el de llegada.

En este punto hay que señalar de nuevo la importancia de un correcto replanteo, pues hay que calcular que los flotadores en su movimiento no encuentran obstáculos al aproximarse a la orilla opuesta.

Una vez colocados los flotadores en el extremo libre del puente a cada uno de los lados de las columnas de apoyo provisional, se ensamblan los pórticos de cuelgue. Como anécdota hay que decir que, movidos por la premura de los plazos y el sentido económico, los responsables de la obra decidieron utilizar como flotadores cuatro partes del puente que estaban destinadas a, una vez girado, la unión de éste con los estribos.

Los pórticos, construidos con perfilaría de acero llevan en la parte superior el sistema para suspender el puente, consistente en un balancín de cuyo extremo inferior se cuelga el nudo de arranque del arco a través de una cartela soldada, que se une al mismo con un perno. Dos pletinas de cuelgue en cada extremo son las que llevan la carga a los pórticos las cuales están perforadas y se encajan entre dos chapones igualmente taladrados de tal forma que mediante unos cilindros de acero pasantes funcionan como una cremallera que hace bajar o subir el balancín. Un gato hidráulico actuando sobre cada una de las cuatro pletinas de cuelgue realiza el movimiento vertical de las mismas, una vez que se ha retirado el cilindro pasante que trabaja mientras el gato no actúa.

Vamos a detenernos ahora en un elemento esencial para la operación de girado del puente y que antes vimos muy escuetamente: la pila de giro.

El puente se encuentra montado sobre los pilares

de apoyo provisional y para poder moverlo, lo primero que se plantea es la necesidad de elevarlo para separarlo de los mismos y poder girar. En el extremo que va a describir el giro no hay más que subir accionando la cremallera hasta la altura deseada. Sin embargo, en el extremo opuesto lo que tenemos es la rótula.

Por tanto había que diseñar un dispositivo que permitiese disponer una rótula cuya altura pudiese ser variada.

La pila consta de una parte fija a la cimentación de sección rectangular que termina aumentando la misma en forma de "V", de tal forma que se crean tres plataformas: una central, la más alta, sobre la que se instalará un travesaño, y dos laterales para apoyar unos gatos hidráulicos encargados de elevar el puente antes de su giro y bajarlo una vez concluido éste.

El travesaño de hormigón armado, con perfil de pirámide truncada, se apoya sobre la plataforma central de la pila y, lateralmente, sobre los gatos. En la parte superior lleva un disco que constituye el apoyo de giro, sobre el que descansa una placa de reparto soldada al ala inferior de la traviesa del tablero.

Para subir se actúa extendiendo los gatos con lo que el travesaño se despega de su apoyo inferior y se introduce un calzo de hormigón armado que incorpora en las dos caras de contacto unos chapones con taladros que permiten atornillarlos rígidamente a otros calzos y éstos a la cara inferior del travesaño y a la pila fija. Retraídos los gatos, el calzo trabaja sosteniendo el travesaño.

Actuando de nuevo con los gatos y adicionando más calzos se puede subir este extremo del puente a la altura que se necesite, en este caso fue necesario elevarlo 30 cm para efectuar la maniobra de giro, introduciendo tres calzos de 10 cm de canto.

Una vez dispuesto todo este aparataje puede empezarse la labor del giro, partiendo de que el puente está elevado 30 cm para separarlo de los apoyos de hormigón que le han servido de base durante todo el montaje.

Tenemos pues de un lado un extremo cargado sobre flotadores, y el otro sobre la pila de giro. Para



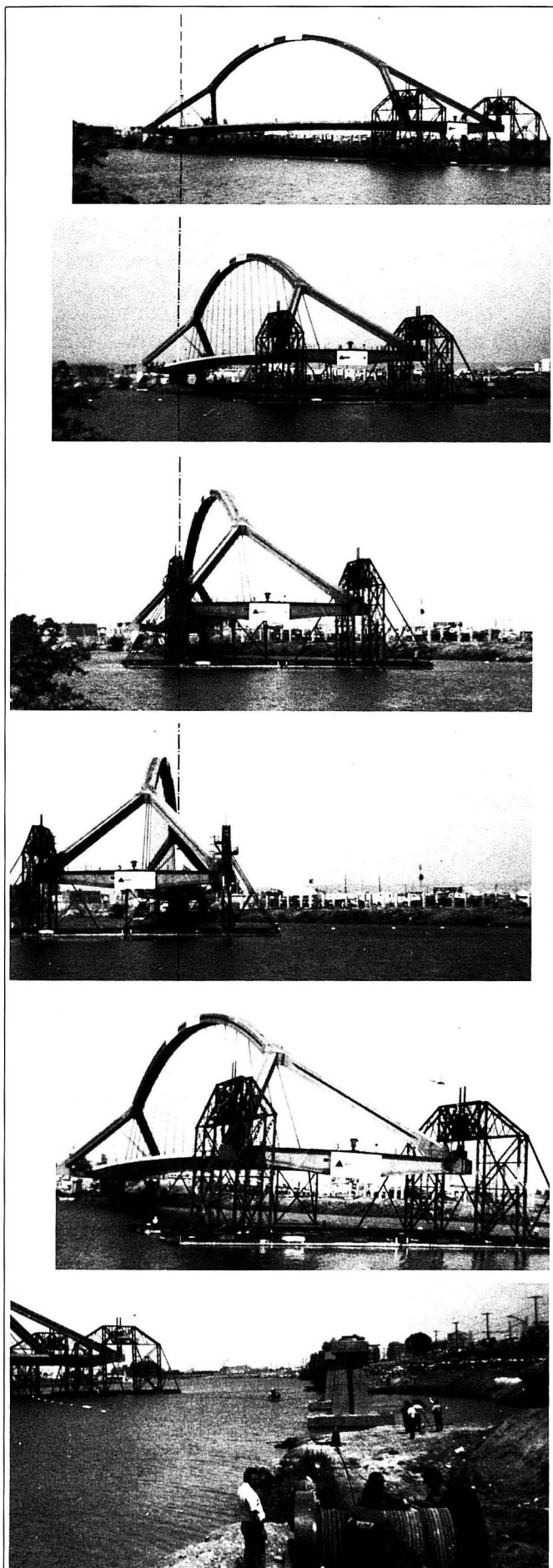


Figura 15:  
La maniobra de giro

mover el puente se emplearán dos cabrestantes: uno de arrastre y otro de retención, situados en cada una de las dos orillas. Una serie de flotadores estarán encargados de mantener a flote los cables y reducir su catenaria.

El giro se realiza en dos fases, puesto que para que el arrastre sea efectivo es necesario variar el punto de tiro y el de retención, de tal forma que los cables de los cabestantes formen con el eje longitudinal del puente un ángulo en torno a los  $90^\circ$ . Puesto que esto no es posible al variar continuamente dicho ángulo conforme se avanza en el giro, se opta por tirar desde un punto para llevarlo desde los  $0^\circ$  a los  $45^\circ$ : lo que se conoce como FASE 1; y cambiar a otro punto de tiro para completar hasta los  $90^\circ$ , la FASE 2.

Para llevar a cabo cada una de las fases manteniendo fijos los cabestantes, que se anclan a unos macizos de hormigón de  $8 \text{ m}^3$ , se instalan 5 poleas perfectamente replanteadas mediante coordenadas sobre el terreno. Dos de estas poleas permitirán tener los dos puntos de tiro de cada fase. Otras dos harán lo mismo en la retenida, y la quinta es necesario colocarla junto a una de las pilas del puente, sobre el encepado, para desviar el tiro en la fase 1, pues en caso contrario rozaría el cable con la pila. Estas poleas se anclan igualmente a macizos de hormigón en el terreno.

El día elegido para la maniobra fue el 30 de mayo de 1989, coincidiendo con la festividad de San Fernando, patrono de Sevilla; once meses después de iniciarse las obras. Aproximadamente a las 9.30 de la mañana se elevan los extremos del puente y quedan cargados en los catamaranes. y en la pila de giro.

El director de la maniobra está en contacto permanente mediante radio-transmisiones con los operarios de los cabestantes, con otros que se encuentran a bordo de los flotadores comprobando el calado de los mismos, así como la distancia entre ellos y con un observador que vigila el comportamiento de la pila de giro.

Aproximadamente a las 12 de la mañana el puente alcanza los  $45^\circ$  de giro. Finaliza la FASE 1 y comienza la 2. Hay que soltar el cable de tiro y el de retenida de las poleas de reenvío de tiro y reenvío de retenida respectivamente. La operación se demora en exceso dificultada por la retirada de los flotadores de los cables que se han ido acumulando en las orillas al irse bobinando éstos, y se prolonga más de hora y media.

Liberados los cables de las poleas de reenvío, pasando únicamente por las guías de tiro y retenida respectivamente, se inicia la FASE 2. En menos de 40 minutos el puente alcanza la orilla opuesta. Sin embargo, cuando faltaban unos metros para alcanzar su posición definitiva, se desencadena una tormenta -al igual que en los días precedentes y aproximadamente a la misma hora- que hace que sople el viento con cierta virulencia a lo largo del

cauce del río. Ante este inoportuno cambio climático se decide sin embargo proseguir el tiro y asegurar los flotadores a las pilas del puente. Cuando estaba a punto de conseguirse, el cable de tiro se suelta del anclaje y por la acción desfavorable del viento, en menos de dos minutos vuelve el puente a su posición inicial, viéndose frustrada la operación en su primer intento.

Una vez examinado lo ocurrido pudo comprobarse la causa: el cable se desprendió de su anclaje por la rotura de unos tornillos que sujetaban una pletina cuya misión no era la de resistir el tiro, sino únicamente mantener la horizontalidad del anclaje.

A pesar de esto, el accidente también había

puesto de manifiesto el espléndido comportamiento de la pila de giro y ello animó a los responsables a reanudar con éxito la operación durante la madrugada del día siguiente, tras asegurar los anclajes y "ensartar" de nuevo los cables en las poleas.

Con las primeras luces del día aparecía en el paisaje del río la silueta del nuevo puente. Aunque la noche fue larga, las tareas, sin embargo, no habían finalizado. Quedaba la operación de descuelgue de los pórticos flotantes para apoyar el puente en sus pilas, al igual que en el otro extremo bajando la pila de giro. Ambas operaciones no plantearon dificultad alguna gracias al funcionamiento del mecanismo de cremallera en los pórticos y a la retirada de calzos de la rótula mediante el empleo de gatos hidráulicos.

5

A modo de resumen técnico, se reseñan a continuación los datos más importantes del puente, así como los encargados de su realización.

- Luz del vano máxima: .....168 metros
- Flecha máxima del arco: .....30 metros
- Ancho total del tablero: .....21,4 metros
- Número de péndolas: .....17
- Número de pilas: 4 de hormigón armado
- Cimentación de las pilas: 4 pilotes de barrena continua
- Sistema de colocación:.....giro de 90°
- Presupuesto inicial:.....692.821.920 pts.
- Tiempo de montaje:.....11 meses
- Tiempo de giro: .....5 horas
- Autores del Proyecto: APIA XXI, S.A.; Juan José Arenas y Marcos Pantaleón, ingenieros de caminos.
- Empresa constructora: AUXINI-ENSIDESA, unión temporal de empresas.
- Directores de obra: Vicente Jau y Rafael Chueca Edo, ingenieros de caminos.
- Empresa subcontratista de montaje de piezas de taller: MEGUSA
- Empresa subcontratista construcción pórticos flotantes: SAMICA

La documentación para la realización de éste trabajo ha sido obtenida de:

- Departamento de Documentación y Archivo de la División de Proyectos y Construcción. Sociedad Estatal para la Exposición Universal de Sevilla 92.
- Fermín Carbajal, aparejador de la empresa Auxini.
- Revista El Croquis, nº 38, febrero-marzo 1989.
- Fotografías:
  - Departamento de Documentación y Archivo. Expo 92
  - Díaz Japón (ABC)
  - J. M. Serrano (ABC)
  - Manuel Morato Moreno



Figura 16  
*El puente sobre sus apoyos definitivos*

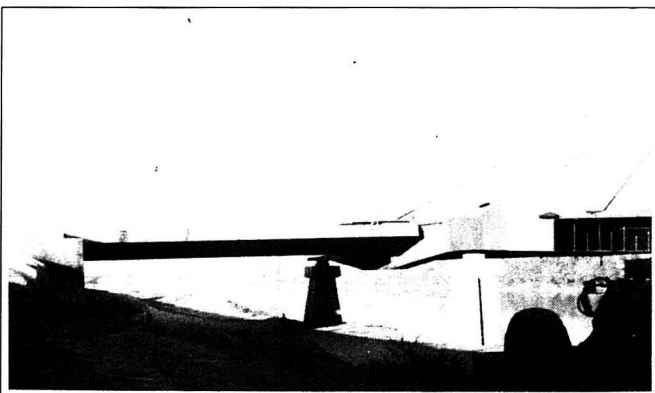


Figura 17  
*Unión del tablero con los estribos*

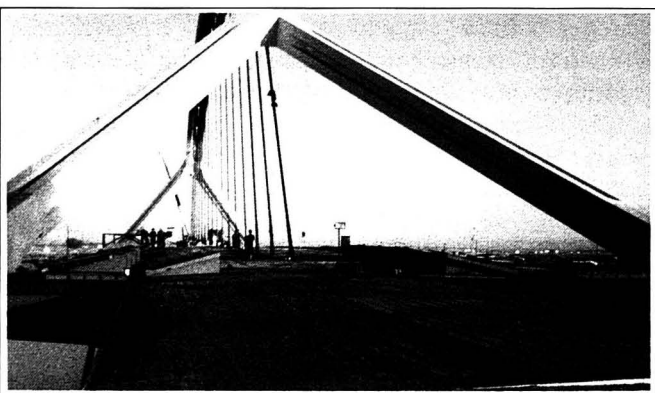


Figura 18  
*Adición de las piezas que completan el tablero*